



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

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 Castro.

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

AUTOR:

Anderson Leandro Granda Armijos

DIRECTORA:

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg Sc.

Loja– Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 21 de noviembre de 2023

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg Sc

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular titulado “**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 Castro**” de autoría del estudiante **Anderson Leandro Granda Armijos** con cédula de ciudadanía **1106182486**, previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**JOHANA CRISTINA
MUNOZ CHAMBA**

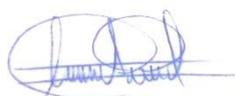
Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg Sc

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Anderson Leandro Granda Armijos**, 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:



Cédula de Identidad: 1106182486

Fecha: 06/02/2024

Correo electrónico: anderson.granda @unl.edu.ec

Teléfono: 0959419326

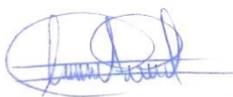
Carta de autorización por parte del autor, para consulta, producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo, Trabajo de Integración Curricular.

Yo **Anderson Leandro Granda Armijos** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular “**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 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 de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

Para constancia de esta autorización, suscrito, en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de febrero del dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Anderson Leandro Granda Armijos

Cédula: 1106182486

Dirección: Barrio Nueva Granada

Correo electrónico: anderson.granda@unl.edu.ec

Celular: 0959419326

DATOS COPLEMENTARIOS:

Directora del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg Sc.

Dedicatoria

Este Trabajo de Integración Curricular se la dedico a los pilares fundamentales de mi vida, a mi padre Silvio Granda quién me brindó el ejemplo de superación, humildad y sacrificio, mis hermanos quienes nunca dejaron de creer en mí y sobre todo a mi madre Teresa Armijos, aquella mujer omnipresente quien se convirtió en mi estrella para guiarme en el camino de la vida.

Con mucho aprecio

Anderson Leandro Granda Armijos

Agradecimientos

Mi gratitud eterna a Dios y a la virgen por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para culminar con éxito este trabajo de investigación. A mi familia quien nunca desistió de creer en mí y quienes han sido una fuente de inspiración durante la formación de mi vida académica.

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

De manera especial quiero agradecer al Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba M. Sc., por todo su apoyo, consejos y paciencia durante el transcurso de esta investigación. A los pasantes y amigos que a pesar de las complicaciones siempre brindaron su predisposición para ser parte de este trabajo.

Por último, quiero expresar mi gratitud la Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg Sc, quien fue la persona clave para la culminación de este estudio, quién demostró un interés genuino en mi investigación, sus consejos y sugerencias fueron invaluable para el desarrollo del mismo. Siempre estuvo dispuesta a responder mis preguntas y aclarar mis dudas, lo cual me proporcionó la confianza y seguridad necesaria para seguir adelante, demostrando ser una docente excepcional y un modelo a seguir en términos de compromiso y profesionalismo. Una vez más, le agradezco sinceramente por todo el tiempo y esfuerzo que ha invertido en mi desarrollo como estudiante y por creer en mi capacidad para llevar a cabo este proyecto. Estoy seguro que sus enseñanzas y consejos me acompañarán a lo largo de mi carrera profesional.

Con profunda gratitud.

Anderson Leandro Granda Armijos

Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	x
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico.....	7
4.1. Plantaciones forestales	7
4.2. Importancia de las plantaciones forestales	7
4.3. Procesos ecológicos en las plantaciones.....	8
4.4. Manejo de plantaciones	8
4.4.1. Regeneración bajo plantaciones	10
4.5. Plantaciones de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltldl. & Cham.	11
4.5.1. Descripción dendrológica Pino	12
4.5.2. Distribución y ecología de la especie	13
4.5.3. Incidencia del pino en incendios forestales.....	14

4.6.	Plantaciones de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm	14
4.6.1.	Descripción dendrológica del eucalipto.....	15
4.6.2.	Distribución y ecología de la especie	16
4.6.3.	Incidencia con incendios forestales.....	17
4.7.	Combustibles forestales en plantaciones.....	18
4.7.1.	Clasificación de combustibles forestales	18
4.7.2.	Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares	19
4.8.	Silvicultura preventiva en plantaciones forestales	19
4.8.1.	Quemas al barrer	20
4.8.2.	Quemas parciales	20
4.8.3.	Quemas progresivas.....	20
4.8.4.	Quema bajo dosel.....	21
4.9.	Incendio forestal.....	21
4.9.1.	Causas de un incendio forestal	22
4.9.2.	Tipos de incendios forestales	23
4.9.2.1.	Incendios de superficie	23
4.9.2.2.	Incendios de copas	23
4.9.2.3.	Incendios de subsuelo	23
4.9.3.	Consecuencias de un incendio forestal.....	24
4.9.4.	Impacto de los incendios forestales en el ecosistema	25
4.9.4.1.	Secuelas de los incendios forestales en los recursos hídricos	26
4.9.4.2.	Impacto de incendios forestales en el suelo	26
4.10.	Incidencia meteorológica en incendios forestales.....	27
4.11.	Triángulo de fuego	28
4.11.1.	Combustible	28
4.11.2.	Oxígeno	29
4.11.3.	Reacción en cadena.....	29

4.11.4. Elementos del triángulo de la propagación del fuego.....	29
Factores Climáticos:	30
Humedad Relativa del Aire:	30
Viento:.....	30
Precipitaciones:	30
Factores Topográficos:	30
Factores Vegetacionales:	30
Material combustible:	30
4.12. Biomasa forestal	31
5. Metodología	32
5.1. Área de estudio	32
5.2. Cuantificación del combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto del Parque Universitario Francisco Vivar Castro.	32
5.2.1. Número y Establecimiento de líneas de intersección.	33
5.2.2. Levantamiento del combustible forestal muerto	35
5.2.3. Determinación de la cantidad de combustibles forestales muertos	33
5.2.4. Recolección de hojarasca	34
5.2.5. Secado de hojarasca.....	35
5.3. Determinación de la relación de factores ambientales en la cantidad de combustible forestal muerto, en las plantaciones <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham. y <i>Eucalyptus saligna</i> Sm.....	36
5.4. Análisis de información.....	36
6. Resultados.....	38
6.1. Composición florística bajo la Plantación de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.....	38
6.2. Composición florística bajo la plantación de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm.....	38

6.3.	Carga total de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto.....	39
6.3.1.	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.....	39
6.3.2.	<i>Eucalyptus saligna</i> Sm.	40
6.3.3.	Comparación de la carga de combustibles entre plantaciones.	41
6.4.	Determinación de la relación de los factores ambientales con la cantidad de combustible forestal muerto, en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham. y <i>Eucalyptus saligna</i> Sm.....	42
6.4.1.	Plantación de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham	42
6.4.2.	Plantación de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm.....	43
7.	Discusión.....	44
7.1.	Cantidad de combustible forestal muerto presente en las plantaciones del PUFVC	44
7.2.	Factores ambientales que se relacionan en el contenido de combustible forestal .	46
8.	Conclusiones.....	48
9.	Recomendaciones.....	49
10.	Bibliografía.....	50
11.	Anexos.....	65

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del combustible forestal muerto, por su tamaño y tiempo de retardo.	19
Tabla 2. Tamaños del combustible forestal muerto.	34
Tabla 3. Fórmulas para el cálculo de la cantidad de combustible forestal muerto.	34
Tabla 4. Hoja de campo para el levantamiento de información del combustible forestal muerto.	35
Tabla 5. Composición florística de la vegetación bajo la plantación de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schlttdl. & Cham.	38
Tabla 6. Composición florística de la vegetación bajo la plantación de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm	38
Tabla 7. Carga o contenido de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino en el PVFC.	39
Tabla 8. Carga o contenido de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm. del PUFVC	40
Tabla 9. Comparación de la carga de combustible forestales entre las plantaciones del PUFVC.	41
Tabla 10. Valores de coeficiente de correlación de Sperman entre las variables ambientales y la carga de combustible forestal muerto en la plantación de pino.	43
Tabla 11. Valores de coeficiente de correlación de Sperman entre las variables ambientales y la carga de combustible forestal muerto en la plantación de pino.	43

Índice de figuras

Figura 1. Distribución de las parcelas de pino y eucalipto dentro del PUFVC.....	32
Figura 2. Esquema de líneas de intersección para la cuantificación del combustible forestal muerto, y sus categorías.....	33
Figura 3. Esquema y distribución de parcelas para la medición de la carga de combustible de la hojarasca	35
Figura 4. Secado de hojarasca en estufa a 55°C/24hrs	36
Figura 5. Medición de las variables ambientales.....	37
Figura 6. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham	40
Figura 7. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación <i>Eucalyptus saligna</i> Sm. ..	41
Figura 8. Análisis de componentes principales para la carga de combustible de las plantaciones.	42

Índice de anexos

Anexo 1. Valores de la prueba no paramétrica de Wilcoxon de la plantación de <i>Pinus patula</i>	65
Anexo 2. Valores de la prueba no paramétrica de Wilcoxon de la plantación de <i>Eucalyptus saligna</i>	65
Anexo 3. Coordenadas de las parcelas de las plantaciones de pino y eucalipto del PUFVC.....	65
Anexo 4. Tabla de correlación entre factores ambientales y contenido de humedad de la plantación de <i>Pinus patula</i>	66
Anexo 5. Tabla de correlación entre factores ambientales y contenido de humedad de la plantación de <i>Eucalyptus saligna</i>	67
Anexo 6. Instalación de los transectos para la cuantificación de combustible forestal muerto.....	67
Anexo 7. Instalación de cuadrantes para la recolección de hojarasca.....	67
Anexo 8. Recolección de hojarasca.....	67
Anexo 9. Toma de valores de los factores ambientales con el anemómetro.....	67
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen.	68

1. Título

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 Castro

2. Resumen

Las plantaciones forestales son fundamentales para la vida, ya que desempeñan un papel crucial en el desarrollo sostenible al producir madera, esencial para equilibrar la oferta y demanda de productos madereros. Además de su contribución económica, estas plantaciones son esenciales para la sostenibilidad ambiental al regular la temperatura y humedad, su importancia se extiende más allá de la producción de madera, abarcando aspectos económicos, ambientales y de conservación. Sin embargo, las plantaciones forestales se ven afectadas de una manera directa por los incendios forestales, ya que, debido a su cantidad de combustible forestal muerto, falta de manejo silvicultural, condiciones ambientales y geográficas son expuestas a producirse estos siniestros. La investigación se realizó en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro, con el objetivo de contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego a través de la determinación de la carga de combustibles forestales muertos presentes en las plantaciones forestales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro. Para ello se instaló un total de 15 transectos temporales de 5 m x 20 m por plantación en donde se anidó intersecciones planares para la carga de combustible en las categorías livianos, ligeros, medianos y pesados (firmes y podridos). Para el combustible proveniente de la hojarasca se instalaron 30 cuadrantes de 50 cm x 50 cm en cada plantación. Se analizó la relación de factores ambientales como la humedad relativa, humedad absoluta, temperatura, velocidad del viento, profundidad de hojarasca y pendiente con la cantidad de combustible forestal muerto. La carga total del combustible forestal muerto en la plantación de pino fue de 37,81 Mg ha⁻¹, mientras que para la plantación de eucalipto fue de 19,35 Mg ha⁻¹, siendo la categoría de mediano/regular la de mayor carga para ambas plantaciones. El análisis de correlación de Spearman para la plantación de pino expresa que la velocidad máxima del viento registró una asociación positiva entre moderada a fuerte ($r = 0,69$) y con un p-valor de 0,003, mientras que para la plantación de eucalipto la humedad relativa fue la que registra una asociación negativa y fuerte ($r = -0,56$) y con un p-valor de 0,0025. Así mismo los factores ambientales que se correlacionan en mayor medida en la carga de combustible forestal muerto de las dos plantaciones son la humedad relativa, contenido de humedad, velocidad de viento y la temperatura. Bajo estos resultados las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm presentan un riesgo inminente para el inicio de un incendio forestal.

Palabras clave: Categorías, carga de combustible, factores ambientales.

Abstract

Forest plantations are essential for life, playing a crucial role in sustainable development by producing wood, which is vital for balancing the supply and demand of timber products. In addition to their economic contribution, these plantations are crucial for environmental sustainability by regulating temperature and humidity. Their importance extends beyond wood production, encompassing economic, environmental, and conservation aspects. However, forest plantations are directly affected by forest fires due to their abundance of dead forest fuel, lack of silvicultural management, and exposure to environmental and geographical conditions that facilitate fire occurrence. The research was conducted in the Francisco Vivar Castro University Park with the aim of contributing to the understanding of fire behavior through the determination of the load of dead forest fuels present in the forest plantations of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. and *Eucalyptus saligna* Sm. in the Francisco Vivar Castro University Park. A total of 15 temporary transects of 5 m x 20 m were installed per plantation, where planar intersections were nested for fuel load in the categories of light, moderate, and heavy (firm and rotten). For the litter-derived fuel, 30 quadrants of 50 cm x 50 cm were installed in each plantation. The relationship of environmental factors such as relative humidity, absolute humidity, temperature, wind speed, litter depth, and slope with the amount of dead forest fuel was analyzed. The total load of dead forest fuel in the pine plantation was 37.81 Mg ha⁻¹, while for the eucalyptus plantation, it was 19.35 Mg ha⁻¹, with the moderate/regular category having the highest load for both plantations. The Spearman correlation analysis for the pine plantation indicates that the maximum wind speed showed a moderate to strong positive association ($r = 0.69$) with a p-value of 0.003, while for the eucalyptus plantation, relative humidity recorded a strong negative association ($r = -0.56$) with a p-value of 0.0025. Likewise, the environmental factors that correlate most significantly with the load of dead forest fuel in both plantations are relative humidity, moisture content, wind speed, and temperature. Based on these results, *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. and *Eucalyptus saligna* Sm. plantations pose an imminent risk for the initiation of a forest fire.

Keywords: categories, fuel load, relationship of environmental factors.

3. Introducción

La funcionalidad ecológica de las plantaciones forestales se encuentra ligada con el desarrollo de la vida en el planeta, ya que estas son el foco principal para la extracción de la madera la cual cumplirá con el proceso de la transformación, generando así un desarrollo socioeconómico especialmente para las comunidades cercanas (Reed et al, 2018), mediante la generación de empleo y la producción sostenible de madera (García et al., 2020). Sin embargo, las plantaciones forestales aportan en procesos de recuperación de suelos degradados desempeñando un papel crucial en la restauración de suelos, mejorando su calidad y previniendo la erosión (López et al., 2020), trayendo consigo algunas características ecológicas las cuales son indispensables para mantener un ecosistema equilibrado, regulando la temperatura, la humedad, protección del suelo, refugio para los seres vivos y sobre todo su influencia en la restauración de un paisaje degradado (Lozano, 2021).

Las plantaciones forestales se pueden ver afectados por el uso exhaustivo de las tierras vulnerando la estabilidad ecosistémica, sin embargo, estas desempeñan un papel fundamental en la conservación y gestión sostenible de los recursos naturales, especialmente en la mitigación del cambio climático y la provisión de bienes y servicios ambientales (Organización de las Naciones Unidas [FAO], 2010), Así mismo pueden albergar una variedad de especies vegetales y animales, incluidas algunas en peligro de extinción y sobre todo son muy importantes ya que pueden desempeñar el papel de corredores ecológicos, facilitando la movilidad de las especies y ayudando a mantener la conectividad entre diferentes hábitats (Pan et al., 2011).

No obstante, los incendios pueden poner en peligro los beneficios ambientales y socioeconómicos asociados los cuales son causados de manera natural o antrópica (Lozano, 2021), en el primer caso se producen por factores meteorológicos como la disminución de la humedad y de la lluvia, velocidad del viento, incremento de la temperatura, desconexión ecosistémica, especies de flora inflamables, distribución del material combustible vinculado con la vegetación seca, entre otros (Myers, 2006), mientras que en los incendios antrópicos son dados por prácticas agrícolas o conflictos sociales (Moraga, 2010).

La mayoría de incendios forestales en el Ecuador ocurren principalmente en la región Sierra (Pazmiño, 2019), donde según el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2020), se producen en un 95 % por causas antrópicas, negligencia en quemas agrícolas y 5 % por causas naturales, siendo las provincias de Pichincha, Carchi, Tungurahua, Azuay, Guayas, Chimborazo y Loja las más afectadas (Secretaría de Gestión de Riesgos [SGR], 2023).

En la provincia de Loja según los reportes de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), existe un incremento en la cantidad de incendios forestales, donde se han registrado un total de 2 514 incendios en los años 2011 - 2020 (Poma, 2022), mientras que en el año 2023, desde el mes de enero a septiembre se han registrado un total de 123 incendios forestales a nivel provincial, 55 de ellos ubicados en el cantón Loja trayendo como consecuencia la pérdida de cobertura vegetal de 2657,01 ha (SGR, 2023), graves problemas ambientales que sufre el estado ecuatoriano (Oña, 2016), ocasionando pérdidas económicas, y sociales.

En los últimos 10 años se han visto afectadas algunas zonas de suma importancia como el Parque Universitario Francisco Vivar Castro “PUFVC”, el cuál para el año 2006 reportó una superficie afectada por incendios forestales de 2 ha entre matorral bajo y páramo, en el año 2007 alrededor de 10 ha de pino fueron destruidas, para en el año 2010 una superficie de 7 ha destruyeron los ecosistemas del páramo antrópico y matorral alto (Aguirre y Yaguana, 2014), siendo el evento más reciente en el año 2017, en donde afectó 9,20 ha del ecosistema páramo, como consecuencia de ello, se registró una pérdida de diversidad (flora y fauna), degradación de los suelos y crecimiento de especies invasoras (Sarango, 2019), por lo que se hace prioritario comprender los elementos del fuego como estrategia de prevención de incendios forestales.

Los tres elementos del triángulo del comportamiento del fuego son: combustible, calor y oxígeno, siendo la carga o cantidad de combustibles forestales (ramas, troncos, hojarasca, etc.) un factor muy importante para el desarrollo de un incendio forestal (Caballero, 2018). En los diferentes ecosistemas, los combustibles forestales se acumulan dependiendo de varios factores como pendiente, época del año, manejo silvicultural, entre otros. Esta carga de combustible influye en el origen de un incendio forestal, siendo el único factor del triángulo del fuego que puede ser controlado por el ser humano (Gould et al., 2008), y al no hacerlo se incrementa el grado de susceptibilidad a incendios forestales.

Las investigaciones sobre combustibles forestales en los diferentes ecosistemas, coberturas vegetales y su influencia en la incidencia de incendios forestales en Ecuador son limitadas por lo que se requiere generar información científica, técnica, que complemente a la generada sobre las estadísticas de incendios, cobertura vegetal afectada y efectos en la biodiversidad (Troya, 2017).

La información relacionada con el tipo y cantidad de combustible forestal presente bajo plantaciones forestales es escasa (Giler, 2020), por ende, es de suma importancia desarrollar investigaciones que aporten a comprender los elementos de prevención, mitigación y

adaptación del fuego, y carga de combustible forestal, con la finalidad de poder contrarrestar los efectos del cambio climático y la acumulación de combustibles a escala de paisaje con una estrategia integral de manejo del fuego (Hernández, 2020).

Esta investigación pretende generar información respecto a la cantidad de combustibles forestales muertos presentes en las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm, del Parque Universitario Francisco Vivar Castro con la finalidad de generar información para el desarrollo de instrumentos de gestión y manejos para la prevención de incendios y para la toma de decisiones en el cantón Loja, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego a través de la determinación de la carga de combustibles forestales muertos presentes en las plantaciones forestales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Objetivos específicos

- Cuantificar el combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto del Parque Universitario Francisco Vivar Castro.
- Determinar la relación de factores ambientales con la cantidad de combustible forestal muerto, en las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm.

4. Marco Teórico

4.1. Plantaciones forestales

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO] (2002), las plantaciones forestales son aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de restauración o reforestación, puede ser simple y uniforme en cuanto a su estructura, composición de especies y en su capacidad, con la finalidad de aprovechar la energía solar, reciclaje del agua y de los nutrientes al máximo. bajo condiciones que el ser humano puede controlar la genética, crecimiento, la fertilidad, las relaciones hídricas y en general, el desarrollo de los árboles (Richter y Calvo, 1995).

Las plantaciones forestales pueden estar formadas por especies nativas o foráneas, según el propósito de la plantación, así mismo debe cumplir con algunos requisitos como poseer una superficie mínima de 0.5 ha, una cubierta de copa de al menos el 10 % de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m (Poma, 2022).

Las plantaciones forestales representan una opción de gran importancia para la utilización de tierras, a través de reforestaciones que se establecen con un propósito dual: productor y protector. Este enfoque se debe a la afectación de ecosistemas estratégicos, como reservas forestales, lagunas y humedales, evidenciada por la disminución de la biodiversidad y la reducción de cuerpos de agua y cobertura forestal debido a procesos de colonización, desarrollo económico e incendios forestales en regiones con una dotación ecosistémica frágil (Rusch, 2014).

4.2. Importancia de las plantaciones forestales

Se sabe que las plantaciones forestales es una solución ante varios problemas ambientales y económicos cuando se elimina un bosque y el terreno es destinado a la explotación agrícola o ganadera, esta actividad tiene como resultado un efecto similar al de quemar la piel de un ser humano, ya que los bosques ayudan a mantener el equilibrio ecológico, limitando la erosión en las cuencas hidrográficas e influyen en las variaciones del tiempo y en el clima (Barreiro, 2015).

Las plantaciones forestales colaboran en preservar los recursos naturales al resguardar el suelo y el agua, y, principalmente, desempeñando un papel crucial al ayudar en la mitigación del cambio climático a través de su capacidad para absorber carbono. Además, sirven como hábitat para numerosas especies de flora y fauna, contribuyendo así a la preservación del ecosistema (Lozano, 2021).

Las plantaciones forestales generalmente afectan a la fauna de cualquier ecosistema, es decir tienen un impacto negativo en la diversidad y abundancia de la fauna local. Las áreas con plantaciones forestales tienen menos especies de animales y menos individuos en comparación con las áreas sin plantaciones. Esto se debe a que las plantaciones proporcionan un hábitat menos adecuado para la fauna nativa, ya que ofrecen menos alimento y refugio que los bosques nativos (Rusch, 2014).

Es inherente la disminución de especies específicas de aves, mamíferos e insectos que dependen de los bosques nativos para su supervivencia, esto incluye especies de aves insectívoras, que se alimentan de insectos que se encuentran en los bosques. De esta forma las plantaciones forestales, si bien son una fuente importante de madera y papel, tienen un impacto negativo en la fauna, por ende, es de suma importancia minimizar este impacto, protegiendo las áreas sin plantaciones forestales y la promoción de prácticas forestales sostenibles que conserven la diversidad y el hábitat de la fauna nativa (Rusch, 2014).

4.3. Procesos ecológicos en las plantaciones

Los procesos ecológicos que hacen parte del funcionamiento natural de los ecosistemas tales como dispersión de semillas, polinización de plantas, relaciones depredador-presa, entre otros (Lindenmayer y Fischer, 2006), se deben relacionar entre sí y con su ambiente, manteniendo un equilibrio en el ecosistema (Escobar, 2008), pueden ser identificados mediante algunos indicadores los cuales son capaces de evaluar cómo se están produciendo los procesos ecológicos como el ciclo del agua, ciclos de los minerales y nutrientes, dinámica de las comunidades bióticas y flujo de la energía (Rodríguez et al., 2009).

En el Ecuador existen plantaciones de *Pinus radiata*, *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*, sembradas entre matorrales, páramos y áreas abiertas, las cuales son de suma importancia para los procesos ecológicos de un ecosistema, generalmente en estas áreas se generan el banco de semillas el cual es indispensable para la regeneración natural siendo capaces de mantener viables a las semillas por largos periodos de tiempo y germinar cuando las condiciones ambientales sean favorables (Muñoz et al., 2021).

4.4. Manejo de plantaciones

El manejo forestal se refiere a la planificación, organización y ejecución de actividades relacionadas con la gestión sostenible de los recursos forestales, lo que implica la conservación y el uso responsable de los bosques para garantizar su productividad a largo plazo, teniendo en

cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales, sin embargo el manejo forestal también implica la integración de prácticas de conservación, aprovechamiento y restauración de los bosques, con el objetivo de mantener su biodiversidad, proteger los servicios ecosistémicos y satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras (FAO, 2012).

Es importante entender que el manejo forestal adecuado implica la aplicación de técnicas silvícolas apropiadas, como la regeneración natural, la plantación de especies autóctonas y la protección contra incendios y plagas, para garantizar la salud y la productividad de los bosques (Gadow et al., 2004). La silvicultura ha jugado un papel importante para el manejo de plantaciones a lo largo de la historia, inicialmente en la década de los treinta, las plantaciones estaban destinadas a producir principalmente madera palpable y aserrable, sin embargo, actualmente el manejo de una plantación va más allá de la obtención de la materia prima, ya que actúan como sumideros de carbono, zonas de conservación etc.

Para el manejo forestal de una plantación es de suma importancia la silvicultura preventiva, ya que principalmente modifican la estructura del combustible disponible, satisfaciendo así la protección contra incendios forestales, protección al mejoramiento de producción y calidad del ambiente. La silvicultura preventiva debe ser considerada como una forma de gestión altamente rentable, ya que brinda una mayor seguridad a los recursos forestales. Asimismo, aporta carga energética al suelo y permite la obtención de subproductos secundarios del bosque (Haltenhoff, 1997).

Las plantaciones forestales en Ecuador han experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, gracias a las políticas y programas de fomento impulsados por el gobierno. Sin embargo, también destaca que existen varios desafíos que dificultan su manejo efectivo, entre los cuales tenemos la falta de conocimiento técnico y capacitación adecuada en el manejo forestal. Esto se refleja en prácticas inadecuadas de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones, lo que afecta negativamente su productividad y sostenibilidad a largo plazo (Noboa et al., 2011).

Lamentablemente en el Ecuador las plantaciones forestales se establecen sin tener en cuenta aspectos como la selección adecuada de especies, la planificación de la cosecha y la implementación de programas de manejo forestal sostenible, lo que conlleva a una mala producción de madera y sobre todo la ausencia de manejo silvicultural en una plantación, es un peligro latente para los ecosistemas cercanos (Noboa et al., 2011).

Es importante tener en cuenta algunos aspectos de gestión ambiental y rendimiento para poder evaluar la sostenibilidad de las plantaciones forestales. Las plantaciones forestales en la provincia de Esmeraldas presentan una baja sostenibilidad en términos generales, ya que no se aplican prácticas adecuadas de conservación del suelo, manejo de residuos y conservación de la biodiversidad, así mismo en estas plantaciones no existen políticas laborales adecuadas ni se promueve la participación de la comunidad en las decisiones relacionadas con las plantaciones forestales, estos aspectos negativos conlleva a que las plantaciones forestales no son rentables en términos ambientales, sociales y económicos (Hoogstra et al., 2018).

4.4.1. Regeneración bajo plantaciones

Las plantaciones forestales tienen como objetivo principal la rehabilitación ecológica de un ecosistema el cual se lo obtiene con ayuda de procesos de sucesión, cambios y desarrollo vegetal que existe bajo estas plantaciones (Aguirre et al., 2019), a esto se lo denomina como regeneración natural al cual se reconoce como el mecanismo que permite a las especies de plantas recuperarse después de eventos de perturbación naturales o antrópicos, mediante la aparición de nuevos pies de distintas especies forestales (Mongue, 1990).

El estudio de la regeneración natural dentro del campo forestal es de gran importancia, especialmente si se da un enfoque como instrumento para el manejo y gestión integral de cuencas hidrográficas. Ya que al determinar especies valiosas y fomentar su manejo, los costos de producción de agua potable para el abastecimiento de una población se reducirán notablemente, a la par que se mejoran las condiciones de hábitat para otras especies asociadas en el ecosistema (Armijos, 2011).

Generalmente la regeneración en las plantaciones forestales tiene una mayor tasa de supervivencia de los árboles, así como un crecimiento más rápido en comparación con la regeneración natural. Sin embargo, la biodiversidad de especies presentes en las áreas de regeneración natural es significativamente mayor que en las plantaciones, sin embargo, la regeneración en plantaciones y natural son muy importantes e interesantes practicarlas, ya que ambas permiten maximizar la tasa de supervivencia y crecimiento de los árboles, al tiempo que se fomenta la biodiversidad y se restauran los ecosistemas de manera más efectiva (Pensado, 2014).

La regeneración natural y las plantaciones forestales desempeñan un papel importante en la recuperación de los bosques tropicales degradados. Sin embargo, también se identificaron limitaciones significativas, en el caso de la regeneración natural la densidad es baja y la

diversidad de especies no es comparable a la de un bosque natural, sin embargo, en las plantaciones forestales el crecimiento de las plántulas es lento y que existe una alta tasa de mortalidad. Además, es necesario establecer un manejo adecuado para evitar la competencia con especies invasoras y asegurar el éxito de las plantaciones (Jerez, 2017).

Las plantaciones forestales se las realizan con objetivos integrados, uno de ellos es de acelerar el proceso de restauración y obtener resultados más rápidos, que con la regeneración natural in situ. las plantaciones forestales muestran un crecimiento inicial más rápido y una mayor densidad de árboles. Sin embargo, también muestran una disminución en la diversidad vegetal y la presencia de especies nativas. Mientras que en la regeneración natural in situ muestra una mayor diversidad vegetal y una presencia más significativa de especies nativas. Aunque el crecimiento de los árboles fue más lento que en las plantaciones forestales (Pensado, 2014).

Las plantaciones forestales pueden ser más efectivas en la restauración inicial y en la creación de cobertura forestal, pero pueden tener impactos negativos en la diversidad vegetal y la recuperación de especies nativas. Por otro lado, la regeneración natural in situ promueve la recuperación de la vegetación nativa y es más eficiente en el control de la erosión del suelo, aunque el crecimiento de los árboles puede ser más lento (Pensado, 2014).

4.5. Plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

Esta especie es nativa de América Central, sin embargo, se han expandido alrededor del planeta debido a su poder germinativo y sobre todo a su resiliencia en diferentes zonas, estos árboles pueden alcanzar una altura entre 20 a 40 m, posee algunas características que los hace diferenciar al resto, tales como su color rojizo del fuste, sus acículas caídas y sobre todo sus conos persistentes y de gran tamaño (Eguiluz, 1986).

Las partes vegetativas de especie suelen ser combustibles forestales o la biomasa producida, que al contacto con otros factores meteorológicos se caen y se depositan en el piso forestal formando así una gran capa de hojarasca, la cual puede ser fundamental para la ignición de un incendio forestal. a través del tiempo (Walker et al. 2020). Sin embargo, posee una capacidad de germinación natural sumamente elevada, esta germinación se da generalmente en zonas altas, donde el suelo queda expuesto y sobre todo tenga amplias áreas abiertas como los pastizales y matorrales. La especie posee una madera generalmente de textura gruesa e irregular y un brillo bajo, sin embargo, si se tiene un buen manejo y cuidado de estas, se puede adquirir

una madera blanda y liviana, con baja cantidad de nudos (Vozzo, 2003). La madera del pino es muy importante dentro de la industria de la madera y esta se la puede dividir en:

- Madera de aserrío: Esta madera se la usa dentro de la construcción liviana como estructuras de escaleras, muebles, piezas, encofrados, tejados entre otros. }
- Madera redonda: Generalmente utilizan esta madera para la producción de papel periódico por su bajo contenido de resina, esta madera es procedente de rodales bien manejados y estos también son utilizados para una buena producción de leña y carbón activado.
- Productos no maderables (PFNM): Algunas partes de la planta tienen aplicaciones medicinales como las hojas y resinas, las cuales son preparadas mediante jarabes.

Actualmente en la provincia de Imbabura cuenta con una cantidad significativa de plantaciones forestales, principalmente de especies como el *Pinus radiata*, que han sido establecidas con fines comerciales. Estas plantaciones tienen un gran potencial para generar diversos productos maderables y no maderables, como la madera para construcción y la producción de muebles, así como la generación de energía a partir de biomasa (Tituaña, 2019).

Sin embargo, se identificaron varios desafíos en el aprovechamiento de estas plantaciones, ya que algunas de estas no han alcanzado la edad adecuada para ser aprovechadas de manera óptima. Esto implica la necesidad de establecer un manejo adecuado que asegure la producción sostenible a largo plazo (Cevallos, 2017).

Además, se identificaron dificultades logísticas para el transporte de la madera, así como la necesidad de mejorar la capacidad y conocimiento técnico de los productores en el manejo de las plantaciones y en la diversificación de sus productos. También se recomendó fortalecer la cadena de valor de la madera, mejorando el acceso a mercados y promoviendo la certificación de productos forestales, siendo necesario implementar medidas de manejo adecuadas, mejorar la infraestructura y la capacitación de los productores, y promover la sostenibilidad en todas las etapas de la cadena de valor forestal (Tituaña, 2019).

4.5.1. Descripción dendrológica Pino

La especie *Pinus patula* Schl. et Cham, es un árbol de 10 a 25 metros de altura, posee un corteza escamosa y roja, sobre todo en la parte superior del tronco, donde se encuentran las ramas colocadas irregularmente con ramillas rojizas y escamosas. Las hojas están en grupos generalmente de 4 fascículos, miden por lo general alrededor de 20 cm son delgados y colgantes

o algo extendidas de color verde claro brillante, con bordes finamente aserrados y los diente-cillos muy finos. Tienen dos haces fibrovasculares y sus canales resiníferos son medios, ocasionalmente con uno o dos internos, esta especie posee yemas amarillentas, largas y erguidas (Chuquín, 1990).

Los conillos son laterales, algo atenuados en ambas extremidades con las escamas extendidas y provista de una punta fina y caediza, sus conos son largamente cónicos con unas medidas de 7 a 9 cm, de una textura dura y sésil, algo encorvados, oblicuos y puntiagudos. 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 tenazmente persistentes (no se separan de la ramilla, aunque esta muera y se desprende del árbol) y se abren parcialmente en diferentes épocas (Chuquín, 1990).

4.5.2. Distribución y ecología de la especie

La especie *Pinus patula*, comúnmente conocido como pino patula, es una especie de árbol de la familia de las pináceas, originario de México y se encuentra en una gran variedad de ecosistemas, desde bosques tropicales hasta bosques templados, en la actualidad se encuentra distribuida en el centro y sur América, sin embargo se ha extendido hasta Sudáfrica y al este de África, en el Ecuador su distribución se da en la serranía ecuatoriana, mayoritariamente en las provincias Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha y Loja (Carrere, 2005).

El rango altitudinal donde se desarrolla esta especie es de 450 a 2 400 msnm, se adapta en una gran variedad de condiciones edáficas, en condiciones climáticas requiere de una temperatura que va de 14 a 22 °C, precipitaciones anuales de 1 000 a 2 400 mm³ (Vinueza, 2013).

En términos ecológicos, el pino es considerado una especie pionera, es decir, tiene la capacidad de colonizar rápidamente áreas perturbadas o degradadas. Según un estudio realizado por López-Upton et al., (2004), esta especie puede germinar y establecerse en áreas con altas temperaturas y suelos con bajo contenido de nutrientes. Esta especie tiene una alta capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas, puede crecer tanto en climas cálidos y húmedos como en climas fríos y secos. Además, tiene una alta resistencia a plagas y enfermedades, lo que lo hace una especie resistente y de rápida regeneración (Ruiz, 2004).

En cuanto a su relación con otros organismos, el pino juega un papel importante en la diversidad biológica de los ecosistemas donde se encuentra. Al proveer hábitat y alimento para

una variedad de especies animales y vegetales, contribuye a mantener el equilibrio ecológico, ya que se encuentra asociado con otras especies arbóreas (Gutiérrez, 2013).

4.5.3. Incidencia del pino en incendios forestales

El pino es una de las especies de árboles más comunes en los bosques y también uno de los más susceptibles a los incendios forestales, su alta inflamabilidad y la capacidad de las plagas de insectos para debilitar la salud de los pinos son factores clave en su incidencia en los incendios forestales. Generalmente los pinos son altamente inflamables debido a su contenido de resina, que actúa como un combustible extremadamente volátil. Esto hace que los incendios en áreas donde los pinos son dominantes sean más intensos y difíciles de controlar (Pausas et al., 2017).

La proliferación de plagas de insectos, como el escarabajo descortezador del pino, ha debilitado la salud de los pinos en muchas áreas forestales, estos insectos perforan la corteza del árbol, lo que compromete su capacidad de resistir el fuego y hace que se conviertan en presas fáciles para los incendios, esta combinación de la inflamabilidad del pino y la presencia de plagas de insectos ha llevado a un aumento significativo en los incendios forestales en las últimas décadas, ya que representan una proporción considerable de los combustibles disponibles en muchos ecosistemas forestales, lo que los convierte en una fuente importante de propagación de incendios(Williams, 2020).

4.6. Plantaciones de *Eucalyptus saligna* Sm

Esta es una especie nativa del sureste de Australia, su distribución natural se da en valles o laderas (CATIE, 1986), los cuales presentan un clima de temperatura cálida a subtropical y húmedo, generalmente esta especie se desarrolla en suelos limosos o arcillosos, moderadamente fértiles con un buen drenaje. Estas especies son perennes y demandantes de luz por lo que requieren espacios abiertos para su desarrollo. Sus hojas coriáceas con gruesa cutícula adoptan a menudo una disposición vertical para limitar el calentamiento.

El eucalipto tiene crecimiento continuo, incluso en períodos secos o frescos, en su tronco no se definen anillos de crecimiento y su enraizamiento es muy desarrollado. Ciertas especies tienen tan amplio su sistema radicular que acaparan el agua de los horizontes superiores, de tal suerte que las plantas del sotobosque no pueden desarrollarse, esta especie produce semillas pequeñas con un alto poder germinativo y sobre todo son de gran adaptabilidad y rápido crecimiento, cuya madera es pesada y fácil de aserrar.

Esta especie es muy resistente a incendios forestales, cuando se produce un incendio forestal se destruye el estrato arbóreo, pero los frutos de estos árboles se abren y las semillas intactas caen al suelo y germinan. *Eucalyptus* crece con mayor rapidez ya que son especies pioneras y tiene un alto nivel de resiliencia, estos sufren varios cambios físicos en su estructura durante un incendio como quemadura, pérdida de hojas, daños en el tejido, entre otros (Poore y Fries, 1986). Sin embargo, la regeneración natural de esta especie compite con los cultivos por los recursos, la luz, los nutrientes y el agua, así mismo con plagas como insecto y enfermedades (Akobundu, 1990).

En el Ecuador, se han plantado especies exóticas como *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus saligna*. las plantaciones se han establecido en la zona andina, donde en conjunto abarcan aproximadamente una superficie de 123 720 ha. El objetivo de su establecimiento se realizó como alternativa para reforestar y recuperar áreas degradadas y, a la vez, para generar productos maderables con fines económicos o comerciales. Sin embargo, los resultados no han sido favorables debido a la falta de monitoreo y manejo silvicultural de estas plantaciones (Aguirre, 2019).

Las plantaciones forestales de Eucalipto son una fuente importante de madera, lo cual tiene un impacto significativo en la industria maderera y en la economía. Esta especie es de rápido crecimiento, lo que lo convierte en una opción rentable para la producción de madera en comparación con otras especies tradicionales. Además, estas plantaciones también tienen un impacto positivo en la reducción de la deforestación y la protección del medio ambiente, contribuyendo a la conservación del suelo, la protección de la biodiversidad y la captura de carbono, ayudando así a mitigar el cambio climático (Martínez, 2006).

La implementación de esta especie es muy importante para la producción de biomasa, la cual puede ser utilizada como una fuente de energía renovable. La biomasa del eucalipto puede ser convertida en pellets o briquetas, y utilizada como combustible en la generación de energía, sin embargo, estas plantaciones pueden tener un impacto en los ecosistemas naturales y la biodiversidad local, especialmente si se establecen en áreas donde anteriormente había bosques nativos. Por lo tanto, es importante implementar prácticas de manejo forestal sostenible y asegurar la conservación de los ecosistemas naturales (Martínez, 2006) .

4.6.1. Descripción dendrológica del eucalipto

Los eucaliptos son especies perennes demandantes de luz por lo que requieren espacios abiertos para su desarrollo, sus hojas coriáceas con gruesa cutícula, adoptan a menudo una

disposición vertical para limitar el calentamiento. El eucalipto tiene crecimiento continuo, incluso en períodos secos o frescos, en su tronco no se definen anillos de crecimiento, su enraizamiento está muy desarrollado y ciertas especies tienen amplio su sistema radicular que acaparan el agua de los horizontes superiores, de tal suerte que las plantas del sotobosque no pueden desarrollarse, por lo general las hojas se descomponen muy lentamente y por ello el mantillo es abundante (Granados, 2008).

Es una especie es perteneciente a la familia Myrtaceae, suelen tener una altura de hasta 60 m, follaje verde intenso. Corteza caduca en fajas largas, persistente en la base hasta 1 m de altura. Primeras hojas opuestas, las adultas alternas de 10-25 cm de largo x 2-3 cm de ancho, ápice acuminado, base cuneada, discoloras. Flores agrupadas en inflorescencias simples, axilares. Pedúnculos de 1,5 cm de largo, achatados. Opérculo cónico, menor que el hipanto, rostrado. Fruto de 0,6-1 cm de largo x 0,5-0,7 m de ancho, cilíndrico, valvas 3-4, ápices curvados hacia afuera (Granados, 2008).

4.6.2. Distribución y ecología de la especie

La especie *Eucalyptus saligna* aparece naturalmente en altas latitudes de Australia, sin embargo esta se ha expandida por todo el mundo, su capacidad de resiliencia es muy alta, ya que tiene la capacidad de adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas y de suelo, pero prefiere suelos bien drenados y fértiles. Se encuentra comúnmente en bosques y plantaciones mixtas por lo que se las puede encontrar en zonas húmedas, templadas y templadas montañosas. Posee una distribución extensamente en África, Nueva Zelana, Portugal, Brasil, Argentina (FAO, 1981).

El *eucaliptus saligna* juega un papel importante en la ecología de su hábitat, proporcionando alimento y refugio para diversas especies. Sus flores atraen a una amplia variedad de insectos polinizadores, incluidas abejas y mariposas. Además, sus hojas son una fuente de alimento para koalas y otros herbívoros. Se ha observado que esta especie también puede afectar la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, pudiendo competir con otras plantas por recursos (Cronin et al., 2015).

La introducción de esta especie en regiones donde no es nativo ha generado preocupación debido a su capacidad de colonizar rápidamente y desplazar la vegetación autóctona. Además, esta especie es conocida por absorber grandes cantidades de agua, lo que puede tener efectos negativos en la disponibilidad de recursos hídricos en áreas donde se encuentra en plantaciones extensivas (Richardson et al., 2000). Así mismo esta especie es

alelopática, esto quiere decir que libera sustancias químicas al medio ambiente que pueden tener efectos inhibidores o estimulantes en el crecimiento y desarrollo de otras plantas cercanas, por lo que la regeneración natural bajo estas plantaciones suele tener una riqueza bastante baja (Birkett et al., 2011).

4.6.3. Incidencia con incendios forestales

El eucalipto presente una alta inflamabilidad debido a su contenido de aceites esenciales en algunas partes de su estructura, así mismo estas especies poseen un alto nivel de combustibilidad y sobre todo su baja densidad, lo que conlleva a que la especie sea altamente susceptible a la ignición y propagación de incendios (Oliveira et al., 2019). Se debe tener en cuenta que esta especie posee una alta tasa de liberación de calor y se quema con rapidez, lo que lo convierte en una especie forestal con un alto potencial de propagación de incendios debido a sus resinas volátiles (Bennetts, 2013).

La propagación de incendios forestales puede ser más rápida e intensa en áreas donde hay plantaciones de eucaliptos debido a las características inflamables de esta especie. Algunos factores que contribuyen son su alta densidad de combustible forestal como sus hojas y corteza, ambos altamente inflamables, estos materiales caídos en el suelo forman una capa de mantillo que se seca rápidamente y se convierte en combustible adicional facilitando la propagación del suelo (Birkett et al, 2011).

Otro factor que contribuye a la propagación de los incendios son los aceites volátiles los cuales son altamente inflamables, que pueden arder rápidamente y generar altas temperaturas., por lo general este es el factor más difícil de controlar. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta especie es muy tolerante al fuego, por lo que su recuperación es rápida, esto debido a su sistema de raíces puede sobrevivir a los incendios y almacenar grandes cantidades de agua, lo que les permite recuperarse rápidamente después de un incendio. Esto puede aumentar la densidad de eucaliptos en áreas afectadas por incendios frecuentes, lo que a su vez puede aumentar el riesgo de futuros incendios (Oliveira et al., 2019).

Es importante tener en cuenta que no todos los incendios forestales en áreas de eucaliptos son causados directamente por esta especie o de forma natural, los incendios pueden tener múltiples causas, incluyendo condiciones climáticas extremas, actividad humana, y la interacción entre diferentes tipos de prácticas silviculturales que se realicen en la zona de las plantaciones (Granados, 2008).

4.7. Combustibles forestales en plantaciones

El término combustibles forestales alude a la vegetación viva y/o muerta producto del ciclo natural de las plantaciones forestales o de las intervenciones del ser humano, que se constituyen en material disponible para la generación y propagación de incendios forestales. Generalmente estos incluyen las copas, ramas, follaje y trozas no utilizada de árboles destruidos como consecuencia de la tala. En un contexto más amplio, los desechos abarcan no solo árboles caídos por el viento, muertos y la vegetación viva del sotobosque, sino también los residuos presentes en el área tras la cosecha o resultantes de podas y raleos. Estos elementos pueden servir como combustibles (Elizalde, 1994).

Los combustibles forestales están relacionados con el manejo y control de los incendios forestales, ya que el exceso de material vegetal en los bosques puede aumentar el riesgo de incendios convirtiendo en una fuente de combustible disponible para el fuego (Navarro, 2019). Por tanto, es de suma importancia el manejo adecuado de los combustibles forestales con la finalidad de reducir material vegetal acumulado a través de técnicas como la tala selectiva, la quema controlada y la limpieza de áreas cercanas a estructuras. Sin embargo, la quema de estos materiales también impacta de manera negativa al ambiente, ya que generan emisiones de contaminantes atmosféricos, como gases de efecto invernadero y partículas finas, que contribuyen al cambio climático y afectan la calidad del aire (Gómez, 2017).

4.7.1. Clasificación de combustibles forestales

La clasificación del combustible forestal puede ser dada según su disposición en el terreno, están pueden tener una continuidad horizontal, es decir, la vegetación posee una distribución lateral en el terreno, desde la perspectiva de control de incendios forestales, su modificación tiene por finalidad alterar la propagación del fuego.

Así mismo también poseen una clasificación según el material los cuales se clasifican como material pequeño, estos son la materia vegetal que se descompone rápidamente y se queman con facilidad en los incendios forestales, el material mediano, generalmente suelen ser madera de copas y ramas entre 1,25 y 10 cm de diámetro, y por último tenemos el material grande, tales como troncos desechados, y otras maderas mayores a 10 cm de diámetro, esto en relación con el combustible forestal vivo (Haltenhoff, 1997).

Sin embargo, los combustibles forestales muertos se clasifican bajo diferentes tipos de criterios esto de acuerdo según su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación, sin

embargo, la clasificación más usada es de acuerdo con su tiempo de retardo. Es decir, el tiempo que tarda un combustible vegetal muerto en ganar o perder, dos terceras partes de la diferencia entre su contenido de humedad inicial y su contenido de humedad de equilibrio con respecto al ambiente (Brown, 1982) (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

4.7.2. Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares

Los estudios sobre la disponibilidad de material forestal dentro del lugar de estudio se lo evalúa mediante la técnica de intersecciones planares descrita por Brown, siendo esta adaptada por Carmona (2011) donde menciona que este método puede ser adaptado a cualquier tipo de vegetación, para el material muerto o combustible forestal muerto, los más precisos son las evaluaciones in situ, mediante inventarios específicos, las cuales la técnica de intersecciones planares es la más utilizada para cuantificar los combustibles leñosos (Brown , 1974). Esta metodología consiste en el conteo del número de intersecciones existentes entre las piezas leñosas y piola divisora , donde se contabiliza el material muerto como: hojas, ramas, ramitas, troncos en planos de muestreo vertical y que en el terreno se marca con líneas de muestreo divididas según la clasificación de combustible forestal muerto, para ello esta clasificación tuvo siguientes medidas: de 0-2 m para la medición de combustibles finos/livianos/1 HR; 0-4 m combustibles pequeños/ligeros/10 HR; 0-6 m regulares/medianos/100 HR; 0-20 m grandes/pesados firmes/1000 HRF y 0-20 m grandes/pesados podridos/1 000 HRP, (Oña, 2021).

4.8. Silvicultura preventiva en plantaciones forestales

La silvicultura preventiva es el manejo de las plantaciones forestales con la finalidad de modificar la estructura del combustible forestal disponible, un aspecto importante a tener en cuenta es que las medidas de silvicultura preventiva deben ser planificada e implementadas al momento del establecimiento de las plantaciones con el objetivo de tener un mecanismo de respuesta frente a incendios forestales (Haltenhoff, 2006).

El manejo de las plantaciones es importante ya que se lo realiza con la finalidad de mantener, fomentar, disminuir la competencia entre los árboles con los cultivos, por nutrientes, luz, agua, entre otros (INEFAN, 1998), esto se lo realiza mediante actividades de podas y raleos. Sin embargo, estas actividades generan un impacto colateral ya que incorpora al área una considerable cantidad y volumen de combustible forestal siendo esta clave para la propagación del fuego, ante esta acumulación del combustible forestal se aplican distintas técnicas de silvicultura preventiva que pueden ser utilizadas a las plantaciones.

4.8.1. Quemias al barrer

Este tipo de quemias es necesario para impedir que el fuego se propague fuera del área, por ende, es importante que en torno a los márgenes del área se habilite un camino cortafuego para dar una mayor seguridad en el control del fuego. En extensiones considerables, es esencial segmentar el área en parcelas, las cuales pueden ser abordadas de forma integral o gradual, dependiendo de la cantidad de material inflamable presente en la región y la dificultad asociada con el control del fuego (Davis y Klehm, 1939).

El mejor momento para efectuar las quemias es inmediatamente después de un evento prolongado de lluvia, ya que en este tiempo está en calma y hay muchas posibilidades de que el fuego consuma solamente los residuos que deben ser eliminados, combustibles pequeños y medianos, los cuales pueden ocasionar riesgo menor daño a los rodales vecinos ya que el fuego se propaga lentamente para que pueda ser controlado evitando daños al suelo (Hawley, 1982).

4.8.2. Quemias parciales

Las quemias parciales en incendios forestales se refieren a técnicas de manejo del fuego, las cuales se controla y se dirige el avance del fuego, mediante el control y aplicación del fuego en pequeñas proporciones de terreno, este tipo de quemias generalmente son empleadas con la finalidad de reducir la carga de combustibles forestales en el área y de esa forma reducir la intensidad y el alcance del incendio y facilitar su control (Haltenhoff, 2006).

Este método se utiliza como herramienta de gestión forestal para prevenir grandes incendios y promover la regeneración de un ecosistema, se realizan mediante la creación de líneas de fuego alrededor del perímetro del incendio, con la finalidad de detener el avance del fuego, este tipo de quemias es la modificación de las quemias altamente riesgosas en la que sólo se queman los residuos en aquellas áreas en que se presentan condiciones de alta amenaza y vulnerabilidad de incendios forestales, así mismo como un tipo de combustible mediano y grande, Por lo

general, son recomendables para el manejo de vegetación a orilla de caminos o de los combustibles pequeños bajo dosel (Haltenhoff, 2006).

4.8.3. Quemadas Progresivas

Este procedimiento implica acumular, apilar y quemar los residuos en una sola operación, lo que resulta en una disminución de los costos totales de supervisión y permite un control efectivo del fuego durante la quema. La quema progresiva presenta notables ventajas en comparación con otros métodos de manejo de residuos, ya que puede aplicarse incluso en condiciones húmedas, aunque se requiera algún tiempo adicional para iniciar el fuego. Además, se minimizan los daños a la repoblación y a la masa residual, y con esta técnica, el riesgo se elimina tan pronto como se va generando (Munger y Westveld, 1991).

4.8.4. Quema bajo dosel

La utilización de la quema bajo dosel en bosques de coníferas puede considerarse como un método para gestionar el combustible, con el objetivo de prevenir la aparición de incendios superficiales y evitar que estos evolucionen hacia incendios de copas. El material combustible que se busca eliminar incluye acículas, ramillas, matorral y la regeneración propia de las coníferas. Es esencial que las quemadas bajo dosel se lleven a cabo con baja intensidad para preservar la cobertura del dosel.

Para iniciar el fuego, se recomienda que este se desarrolle ladera abajo o en contra del viento. Además, es crucial que el viento sea constante, y la quema debe realizarse cuando el suelo esté húmedo para evitar daños al mismo, ya que ni se quema ni se destruye, y el calor no penetra en el suelo, evitando así el daño a las raíces. Por estas razones, el final del invierno o la primavera son momentos propicios para llevar a cabo estas quemadas, ya que, durante el invierno, especialmente los combustibles más gruesos, están saturados de agua y no arden ni facilitan la propagación del fuego. (Vélez, 1983).

4.9. Incendio forestal

Las áreas forestales desempeñan un papel esencial en la existencia del planeta, siendo cruciales en los ciclos de producción y distribución del agua, así como en la purificación del aire al absorber dióxido de carbono y liberar oxígeno. Estas regiones desempeñan un papel vital en la regulación de la temperatura y la humedad, proporcionando alimento, medicinas y refugio a los seres vivos, y sirven como fuente de materias primas para diversas actividades humanas (Plana, 2016). Sin embargo, estos procesos vitales se ven amenazados por diversos factores

externos a las actividades forestales, como la degradación del suelo, la deforestación, la tala excesiva y los incendios descontrolados, que a menudo están vinculados con actividades como la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano.

El fuego juega un papel importante dentro de un ecosistema ya que controla las poblaciones de plagas y especies invasoras, proporcionando minerales y creando nuevos puntos de luz solar, permitiendo la regeneración de especies nativas. Sin embargo, el uso inadecuado del fuego puede traer consecuencias devastadoras para el ecosistema, e incluso para la salud y seguridad de la persona (Cárdenas, 2010).

Uno de los principales factores del comportamiento del fuego, son los combustibles vegetales, ya que posee características como la inflamabilidad y humedad, las cuales son claves para la ignición y comportamiento del fuego (Ocampo, 2018). La dinámica del fuego está asociada con coberturas vegetales y está condicionada por algunas variables climáticas (Parra y Bernal-Toro, 2011).

Un incendio es el fuego no controlado que puede presentarse de una forma habitual, gradual o instantánea, ocasionando grandes pérdidas materiales, económicas y sobre todo grandes afectaciones al entorno. Según el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2019) define a un incendio forestal como “Fenómenos que se producen cuando uno o varios materiales combustibles en zonas cubiertas de vegetación son consumidos de forma incontrolada por el fuego, el cual puede llegar a salirse de control y expandirse muy fácilmente por extensas áreas”, así mismo la Comisión Nacional Forestal (2010) menciona que “Un incendio forestal ocurre cuando el fuego se extiende distingue de manera descontrolada y afecta a los bosques, las selvas o la vegetación de zonas áridas o semiáridas”.

En base a estas definiciones un incendio forestal se distingue de otros tipos de incendios por la velocidad con la que se puede extender desde su lugar de origen, su potencial para cambiar de dirección inesperadamente, y su capacidad para superar obstáculos como carreteras, ríos y cortafuegos etc. (Masabanda, 2015).

4.9.1. Causas de un incendio forestal

Los incendios forestales son eventos que pueden ocurrir en cualquier época del año, esto depende principalmente de la cantidad de materia combustible y condiciones meteorológicas existentes en el sitio, Según la como la Secretaría de Gestión de Riesgos (2023), determina algunas causas que inciden en un incendio forestal como:

- Caída de rayos o erupciones volcánicas.
- Aumento brusco de la temperatura.
- Presencia de vientos fuertes que hacen el fuego se extienda rápidamente.
- Porque concurren tres elementos del fuego: oxígeno, calor y combustible.
- Causas antrópicas como: presencia de fogatas, vidrios cigarros.
- Mal manejo del fuego en la práctica agrícola.

4.9.2. Tipos de incendios forestales

Los incendios forestales son aquellos en donde la quema del combustible forestal es inmediatamente, por lo general es todo combustible forestal muerto como, tronco caídos, restos de talas, ramas, hojas y la vegetación herbácea seca, este tipo de incendios suelen ser los más comunes suele variar dependiendo la disponibilidad de combustible forestal y factores meteorológicos, por ende estos incendios tienen un comportamiento diferente por tanto, los incendios pueden propagarse a lo largo de la superficie del suelo, debajo de él, o incluso por encima de él, teniendo una nomenclatura para cada comportamiento del fuego (Cochrane 2010).

4.9.2.1. Incendios de superficie

Se consideran incendios de superficie aquellos donde la quema del combustible forestal es inmediata (Trabaud, 1992), por lo general este tipo de incendio se propaga sobre la superficie del terreno, donde se quema todo el combustible que está caído sobre el suelo, tales como troncos caídos, restos de talas, ramas, hojas y vegetación herbácea seca, este tipo de incendios suelen ser los más comunes (Denham, 2007), normalmente estos incendios no afectan a los árboles que puede haber entre medias, pero en algunos casos estos también pueden alcanzar las copas de los árboles hasta que desaparezca la continuidad de las zonas coposas, a este fenómeno se lo conoce como coronamiento, y no se debe confundir con el fuego de copas (Briones, 2014).

Este tipo de incendios suelen propagarse rápidamente, principalmente debido al combustible seco y a la presencia de vientos fuertes, los incendios de superficie generan un impacto negativo en el ecosistema, destruyendo hábitats naturales, afectando a la calidad del aire, debido a la liberación de gases y partículas tóxicas contribuyendo al cambio climático, tras liberar grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

4.9.2.2. Incendios de copas

Este tipo de incendio suelen ser causados por condiciones secas y calurosas, vientos fuertes y acumulación de combustibles en el dosel de los árboles como hojas secas, ramas caídas

y sustancias resinosas, este tipo de incendios pueden propagarse rápidamente a medida que las llamas saltan de un árbol a otro a través de las copas, causando daños en algunos casos irremediables a los ecosistemas.

Los incendios forestales de copas se caracterizan debido que se genera la combustión en las copas de los árboles, estos presentan un grado alto de dificultad al momento de controlar o mitigar el incendio, generalmente se propagan a través de las copas del matorral y árboles (Ministerio de Ambiente, 2015). Estos incendios se clasifican en tres tipos:

- Incendios de copas pasivos: estos incendios se generan de manera intermitente en zonas poco densas y con poca continuidad verticalidad de combustibles, y son producto del calor que se desarrolla en el sotobosque (Rodríguez, 2012).
- Incendios de copas activos: es la combinación del fuego de superficie con el fuego de copas, ya que ambos se propagan simultáneamente, a la misma velocidad y con llamas bien definidas que se extiende de la superficie a las copas (Scott y Reinhardt, 2001).
- Incendios de copas independientes: Los incendios independientes se genera cuando este avanza rápidamente sin la necesidad de que exista un incendio de superficie.

4.9.2.3. Incendios subsuelo

Estos incendios se producen cuando se quema la materia orgánica o de la hojarasca, generalmente este tipo de incendios son detectados solo por la emisión de humo, estos avanzan lentamente (Frandsen, 2001) y no se ven afectados por el viento u otras condiciones climáticas, se forman con el paso de los incendios superficiales y pueden ser extremadamente difíciles de extinguir por lo que pueden durar semanas, meses o años (Cochrane, 2010).

Este tipo de incendios son difíciles de controlar y extinguir debido a su ubicación subterránea, el calor del fuego puede propagarse a través de las capas de tierra creando una situación peligrosa, por lo general este tipo de incendios permanecen activos durante mucho tiempo generando daños en el ecosistema y estructuras.

4.9.3. Consecuencias de un incendio forestal

Las consecuencias de un incendio forestal pueden ser significativas tanto a nivel ambiental como socioeconómico, ya que los incendios forestales pueden destruir hábitats naturales y provocar la pérdida de especies vegetales y animales generando efectos a largo plazo en la composición de especies y la diversidad biológica de los ecosistemas (Margalef et al, 2017). Así mismo durante la quema de biomasa en un incendio forestal se liberan grandes cantidades

de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero, de esta forma los incendios forestales contribuyen aproximadamente al 8 % de las emisiones globales de CO₂.

Las altas temperaturas de los incendios pueden quemar la capa orgánica del suelo, afectando su estructura y fertilidad. Además, la falta de protección vegetal posterior al incendio puede llevar a la erosión del suelo por la escorrentía de agua. Según un estudio de Robichaud et al. (2000), la erosión del suelo después de un incendio forestal puede ser hasta 200 veces mayor que en condiciones normales, generando así un impacto significativo en la economía de las regiones afectadas. Esto se debe a la destrucción de infraestructuras, pérdidas de cultivos y daños a la industria forestal.

4.9.4. Impacto de los incendios forestales en el ecosistema

Los incendios forestales tienen muchas repercusiones sobre la biodiversidad biológica de un ecosistema, siendo una fuente considerable de emisión de carbono y otras partículas (Davies y Unam, 1999), modificando el volumen de biomasa y reduciendo notablemente las actividades fotosintéticas de las plantas, perjudicando la salud de los seres humanos y de los animales (Urzúa, 2011).

Los efectos de los incendios forestales se asocian con la intensidad del fuego, recurrencia y duración del incendio, estas consecuencias pueden ser directos tales como pérdida de animales, pérdida de la vegetación y degradación del suelo. Por otro lado, los efectos indirectos, van desde la erosión del suelo y la contaminación del agua hasta el ensuciamiento de represas y deslizamientos de tierra (Ubeda y Sarricolea, 2016).

Cuando los incendios forestales son frecuentes en una determinada zona o región, el impacto ambiental puede ser devastador (Juste, 2022), ocasionando algunas consecuencias como: pérdida de flora asociada al bosque, cambios de composición del bosque, disminución de áreas boscosas, destrucción de pasajes naturales y aumento de material muerto (combustible), siendo vulnerable a la ignición de un nuevo incendio forestal (Sabuco, 2013), empobreciendo a la biodiversidad de los ecosistemas mediante la colonización de insectos que perturban el equilibrio ecológico (Nasi y Dennis, 2002).

4.9.4.1. Secuelas de los incendios forestales en los recurso hídricos

Los incendios forestales de alta severidad tienen el potencial de interrumpir algunos procesos y funciones hidrológicas en las cuencas hidrográficas, como la intersección, infiltración, evapotranspiración, y almacenamiento (Ebel y Moody, 2017). Así mismo los

incendios forestales tienen un impacto significativo en los recursos hídricos, tanto en términos de calidad como en cantidad, ya que alteran el ciclo del agua, reducción de oferta del agua, impactos en la biodiversidad acuática, contaminación del agua y erosión del suelo, este último es de suma importancia ya que se genera algunos tipos de efectos, descritos a continuación.

- **Efectos sobre la interceptación**

La interceptación del agua es de suma importancia para el equilibrio de los ecosistemas, sin embargo, estos se ven afectados por los incendios forestales, los cuales afectan a la pérdida de la cobertura vegetal, cambios en la estructura del dosel reduciendo la capacidad de interceptación de la vegetación, lo que significa que una mayor cantidad de lluvia llegará al suelo sin ser retardada por el dosel arbóreo (Ruiz, 2022).

Este tipo de efectos se los puede identificar considerando el estrato vegetal afectado y el tipo de incendio, los incendios de copa provoca una combustión inmediata del follaje, disminuyendo la interceptación y aumentando la fracción de la precipitación que alcanza el suelo, mientras que los incendios de suelos consumen la hojarasca y materia orgánica, eliminando la capacidad de retención del agua.

- **Efectos sobre la infiltración**

Los incendios forestales afectan de forma directa a la infiltración del agua generando cambios en la estructura del suelo, alterando la estructura física del suelo y generando una mayor compactación impidiendo que se filtre el agua fácilmente, promoviendo la escorrentía superficial, así mismo los incendios forestales generan pérdida de nutrientes y de suelo fértil al quemar la capa orgánica del suelo, incluyendo hojas, ramas y otros residuos vegetales generando pérdida de minerales del suelo y dificultad de una recuperación de la vegetación por los suelos compactados.

Esta consecuencia se encuentra ligada con los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, especialmente en la capa orgánica ya que al entrar al contacto con el fuego se alteran las partículas minerales con la materia orgánica y modifican propiedades que dependen de la agregación de las partículas, como la mojabilidad del suelo y la infiltración, las cuales pueden obturar los poros de mayor diámetro ocasionando menor porosidad y reduciendo la tasa de infiltración del agua (Ruiz, 2022).

- **Efectos sobre la escorrentía**

Estos efectos se enfocan en las modificaciones que incide en el volumen de la escorrentía, los cuales aumentan después de originarse un incendio, esto viene dado como consecuencia de la poca infiltración, interceptación y evaporación que se existe en la zona afectada (Ruiz, 2022), sin embargo, este aumento viene dado debido a la pérdida de la capa vegetal, el cual puede llevarse partículas de suelo y sedimentos, generando mayores problemas de erosión.

Así mismo generan cambios en los patrones de flujo de agua, provocando cambios de velocidad y distribución del agua, esto incluido a la carga de sedimentos pueden ser muy negativos para la vida acuática y calidad del agua, sobre todo esta carga puede ocasionar la obstrucción de los sistemas de drenaje provocando de esa manera inundaciones en las zonas más vulnerables.

4.9.4.2. Impacto de los incendios forestales en el suelo

El suelo es un componente básico del ecosistema y está compuesta por una mezcla de minerales, agua y microorganismos vegetales, los cuales se ven afectados ante los incendios forestales, provocando la degradación, desertificación y erosión del suelo (Ubeda y Sarricolea, 2016), este último genera pérdida del material, problemas con la infiltración del agua, aumento de escorrentía y disminuyendo la productividad del suelo (González, 2009).

Las propiedades físicas del suelo también se ven perjudicadas por el fuego, ya que destruye parte de la materia orgánica y elimina parte de la vegetación, afectando así a su estabilidad estructural, ya que debilita la capa superficial y posteriormente serán destruidos por el impacto de las gotas (Martínez et al., 1991). La porosidad es otra propiedad física que es afectada por los incendios, ya que estos destruyen la estructura de los poros, afectando principalmente a los macroporos los cuales son de suma importancia para la filtración del agua, trayendo así una mayor escorrentía superficial (Cuesta, 2013).

4.10. Incidencia meteorológica en incendios forestales

Existen algunas variables que influyen en la ignición de un incendio forestal como: La humedad relativa, velocidad del viento, temperatura y precipitación, estas variables influyen en el comportamiento de un incendio forestal, como la propagación, duración e intensidad, este último se encuentra finamente ligado con la velocidad del viento, ya que esta reduce la humedad de la vegetación y provee oxígeno para la combustión (HaynesBradstock, Gill y Williams, 2012).

La inflamabilidad y distribución de la vegetación se ve relacionada con la intensidad de un incendio forestal, sin embargo, estas se ven controladas por la precipitación en escalas de tiempo estacional, así mismo la altitud y el tipo de suelo incrementan la intensidad y ocurrencia de incendios forestales (Pazmiño, 2019).

El contenido de humedad dentro de los combustibles es muy importante, ya que se ven directamente relacionados con la probabilidad de iniciar un incendio forestal al caer el combustible forestal al suelo, en donde la temperatura ayuda a disminuir el contenido de humedad del combustible, generando así la ignición del fuego.

El principal fenómeno meteorológico que ocasionan los incendios forestales son las tormentas secas, los cuales viene acompañados con vientos fuertes y escasa precipitación, lo que incrementa el potencial de originar incendios forestales mediante los impactos de los rayos, los cuales actúan como focos de ignición en lugares donde el combustible muerto y vivo tienen poca humedad (Almarza, 2004).

4.11. Triángulo de fuego

El fuego es un concepto utilizado para la prevención y control de incendios, que representa los tres elementos esenciales necesarios para que se produzca y mantenga un fuego a través de una reacción química de combustión, una oxidación rápida de una sustancia generando calor y luz, y cuando esta reacción no está completa genera humo y gases. Generalmente todo fuego necesita elementos importantes como el oxígeno, calor y combustible para la ignición, a esta interacción de elementos se lo ha denominado combustión (Segovia, 2019). El triángulo del fuego es una representación gráfica de los tres elementos indispensables como el combustible, oxígeno y calor, sin embargo, al momento de que exista la ausencia de un elemento se extinguirá el fuego.

4.11.1. Combustible

Los combustibles son cualquier sustancia que sea susceptible de encenderse y mantener un proceso de combustión (Byram, 1959), estos pueden ser sólidos, líquidos y gases, ya sea en su estado natural o forma preparada, generalmente, el combustible libera energía de su estado potencial a un estado utilizable, ya sea de modo directo o mecánicamente, produciéndose como residuo calor, mediante el cambio o transformación de su estructura química a través de la combustión.

En el ecosistema el combustible es todo material vegetal presente en el ecosistema compuesto por materiales leñosos y ligeros de madera viva o muerta y que tiene la capacidad de encenderse y quemarse cuando se expone a fuentes de calor y se clasifican según su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación y su tiempo de retardo (Brown et al., 1982). Los combustibles forestales es uno de los elementos más importantes para el manejo y control de los incendios ya que este se lo puede manipular (Flores, 1996).

4.11.2. Oxígeno

El comburente generalmente es el oxígeno, este es un elemento esencial para que el fuego se propague y se mantenga, ya que este se presenta en el aire el cual actúa como oxidante permitiendo realizar el proceso de oxidación manteniendo así la combustión. La oxidación es un proceso fisicoquímico que ocurre de forma natural tanto en la materia inorgánica como en los seres vivos (García, 2016). Este proceso transforma elementos y compuestos químicos y del proceso se obtiene energía cualquier sustancia capaz de oxidar un combustible, para que pueda producirse el fuego es preciso que exista una mezcla entre los vapores o gases combustibles y el oxígeno (Laborales, 2014).

4.11.3. Reacción en cadena

según la Fundación para la prevención de Riesgos Laborales (2014) menciona que la reacción en cadena es el factor que permite que progrese y se mantenga la reacción una vez que se encuentra iniciado el fuego, en ocasiones, a pesar de tener los tres factores conjugados en tiempo y lugar, y con la intensidad suficiente, la reacción no progresa debido a que el ambiente no es apto para disipar todo el calor que se produce.

La reacción en cadena es un proceso químico en que la liberación de energía producida por una reacción inicial, estas reacciones en cadena pueden ser exotérmicas o endotérmicas, los cuales rompen el enlace químico entre reactantes, liberando energía llevando a cabo reacciones adicionales.

4.11.4. Elementos del triángulo de la propagación del fuego

La mayoría de los incendios forestales que ocurren son predecibles, debido que se conoce adecuadamente los factores ambientales que influyen en la ignición y propagación del fuego, esta propagación es dada por tres motivos, el primero es por la conducción o contacto directo con los combustibles, la convección y la radiación, sin embargo existe una gran cantidad

de factores climáticos, factores topográficos, factores de vegetación, que influyen en el comportamiento del fuego (Alvear, 1975).

- **Factores Climáticos:** es todo aquello que puede afectar a los elementos climáticos y estos determinan los períodos y horas críticas de ocurrencia y propagación de incendio, teniendo como las variables más importantes, a temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del viento y precipitaciones (Moreno, 2009).
- **Humedad Relativa del Aire:** Cuando los niveles son bajos (inferiores a un 40%) su efecto es similar al de las altas temperaturas, pues contribuye a reducir el contenido de humedad de la vegetación (disminuye la humedad de equilibrio), y por lo tanto influye en la disminución del nivel de energía exterior necesaria para provocar la ignición.
- **Viento:** Contribuye a acelerar la desecación de la vegetación, y por otro lado incrementar el abastecimiento de oxígeno y acelerar la velocidad de propagación, sin embargo, este influye en un aparte específica del incendio (Rothermenl, 1972).
- **Precipitaciones:** Las precipitaciones son importantes al momento de elevar el riesgo de incendios, ya que esta puede influir en el estado del combustible y en la cantidad requerida de calor (Prados, 2017)
- **Factores Topográficos:** La topografía afecta directamente al comportamiento de un incendio, la pendiente de la ladera, ya que los cambios en la pendiente alteran el estado del fuego, ente los factores más influyentes son la altitud, posición respecto a la pendiente, orientación, altitud y rugosidad del terreno (MetEd, 2016)
- **Factores Vegetacionales:** Este factor se refiere a los combustibles forestales y su influencia en el comportamiento del fuego en los incendios forestales y es sumamente variable, dependiendo de la cantidad, continuidad, calidad, contenido de humedad, que posee el combustible.
- **Material combustible:** El material combustible es esencial para la ocurrencia y propagación del fuego y es uno de los componentes tanto del triángulo del fuego, todo lo que se encuentra en el bosque, es combustible. Según la ubicación, los combustibles forestales pueden clasificarse en aéreos y superficiales y estos pueden ser materiales vivos o muertos tales como hojas, ramas y troncos caídos, gramíneas, hierbas, arbustos, humus y turbas (Ramos et al., 2013).
- **Humedad del combustible:** Este componente incide en la posibilidad de que se inicie un incendio ya que su humedad influye mucho en la cantidad de calor requerida para que el combustible pueda encender (MAE, 2015). Es importante distinguir el contenido de

humedad del combustible de la superficie, como el estrato vegetal, y la humedad de los combustibles suspendidos sobre el suelo (Gould et al., 2011).

4.12. Biomasa forestal

La biomasa forestal se define como la materia orgánica existente en un determinado ecosistema forestal (Vergara, 2010). Se encuentra formada por material lignocelulosa el cual es generado por procesos metabólicos de las plantas (Simangunsong et al., 2017). Existen algunos factores que influyen en la cantidad de biomasa tales como disponibilidad de agua, nutrientes, estacionalidad, y perturbación. Aproximadamente el 90 % de la biomasa se encuentra acumulada en los bosques, en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y material orgánico, los cuales son denominados como combustibles (Pérez y Díaz, 2010). Este combustible leñoso se clasifica de tres formas:

- Combustible de madera directos: Esta es considerado como la biomasa forestal primaria, el cual se encuentra constituido por algunos productos leñosos extraídos directamente de terrenos forestales.
- Combustible de madera indirectos: Estos son subproductos derivados de las industrias, entre los tipos de residuos que podemos encontrar son recortes de madera, aserrín, viruta, tapones, entre otros.
- Combustibles de madera recuperados: Estos productos vienen derivados de todas las actividades económicas y sociales dentro del sector forestal, tales como desechos de construcción, demolición de edificios, bandejas de entrada, contenedores, cajas de madera, entre otros (Lucas, 2012).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La investigación se realizó en las plantaciones de pino y eucalipto del Parque Universitario Francisco Vivar Castro (PUFVC), situado en el cantón Loja, parroquia San Sebastián, de propiedad de la Universidad Nacional de Loja, ubicado a 5 km de la ciudad, con una superficie de 99 ha, en un rango altitudinal de 2 130 a 2 520 m s.n.m. se encuentra localizado entre las coordenadas UTM: 700 592 – 9 554 223 N, 700 970 – 9 553 139 S - 701 309 – 9 553 171 E, 699 961 – 9 554 049 W, posee una temperatura anual de 16.6 °C y un tipo de clima templado lluvioso, mesotérmico, frío e isotermal (Aguirre y Yaguana, 2014), (Figura 1).

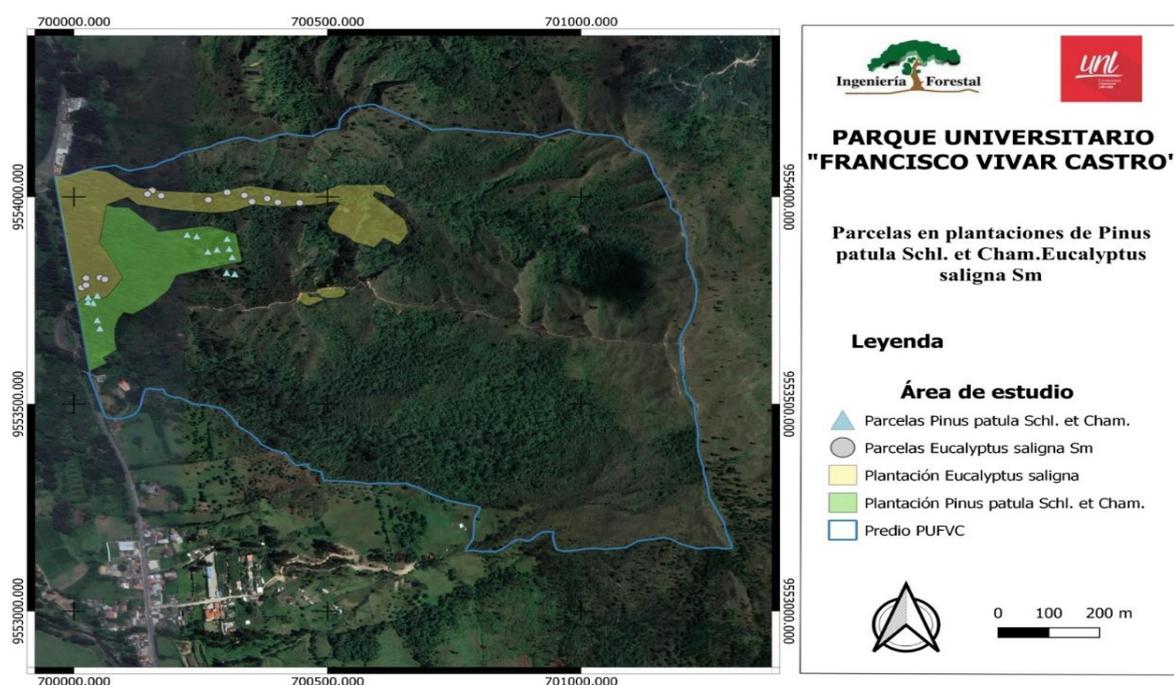


Figura 1. Distribución de las parcelas de pino y eucalipto dentro del PUFVC.

5.2. Cuantificación del combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto del Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Previo a la cuantificación de la cantidad de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto se caracterizó la composición florística de la vegetación que se desarrolla bajo las plantaciones, con la finalidad de conocer la vegetación que se encuentra creciendo actualmente, para lo cual se implementó 15 parcelas temporales bajo cada plantación, se utilizó un diseño sistemático en donde se identificaron y registraron las familias, géneros y especies. Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), expresado en cm a 1.30 m del suelo,

mayor a 5cm de DAP, así como la altura total (ht), expresada en metros, para ello se utilizó la cinta diamétrica y el hipsómetro Sunnto.

Para la cuantificación de la cantidad de combustible forestal muerto, se utilizó la metodología de líneas o intersecciones planares propuesta por Brown (1982) y aplicada por Díaz et al. (2012), (Naranjo, 2014), (Caballero, 2018), adaptada a las condiciones locales del Parque Universitario Francisco Vivar Castro (Oña, 2021).

5.2.1. Número y Establecimiento de líneas de intersección.

Se instalaron 30 transectos temporales de 5 m x 20 m (3000 m²) distribuidas en 15 transectos para cada plantación, donde se delimitó las líneas de intersección planares, en dirección al norte, a 2 m, 4 m, 6 m y 20 m según las categorías de los combustibles forestal muerto estudiadas (Figura 2)

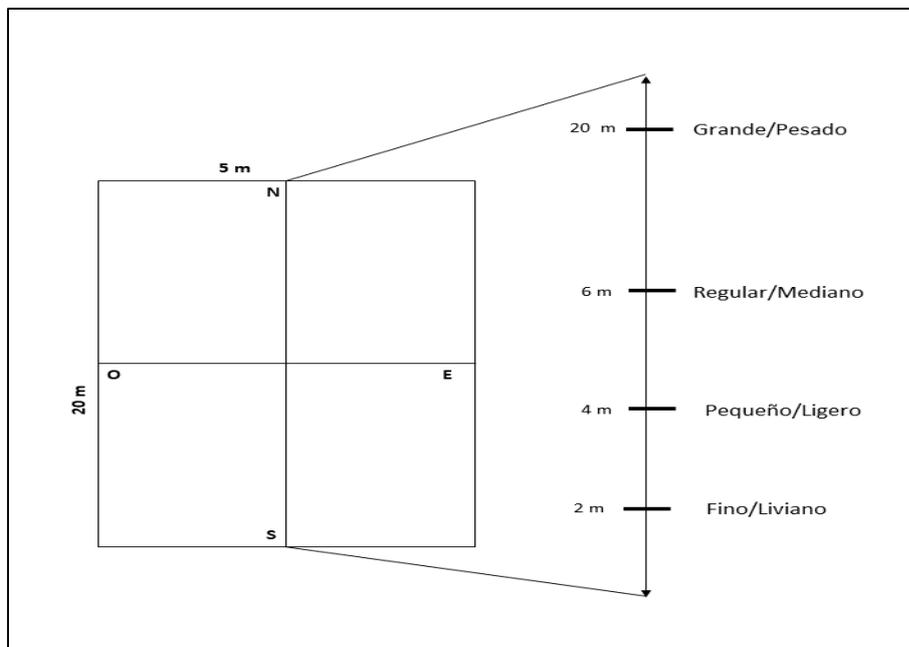


Figura 2. Esquema de categorías y líneas de intersección para la cuantificación del combustible forestal muerto.

5.2.2. 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 grandes, considerando el estado del material como firme o podrido para la categoría grande/pesado (Tabla 2).

Tabla 2. Tamaños del combustible forestal muerto.

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	1000	Grandes/Pesados Firmes	0 – 20
> 7,51	1000	Grandes/Pesados Podridos	0 – 20

Fuente: Brown (1982).

5.2.3. Determinación de la cantidad de combustibles forestales muertos

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 de la cantidad de combustible forestal muerto.

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.

Fuente: Díaz et al.,(2012)

Donde:

P: es el peso de combustible (Mg ha⁻¹)

f: es la frecuencia o número de intercepciones

c: factor de corrección por pendiente

d²: suma de cuadrados de los diámetros del combustible 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 realizó con ayuda de una matriz, la cual organiza 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.

CONDICIONES GENERALES								
Fecha			Hora					
Parcela Nro			Ecosistema					
Coordenadas UTM		Elevación Msnm		Pendiente %				
Código	Pendiente	Profundidad	Peso	0-0,61	0,61 –	2,51 –	>7,61	>7,61
		Ho	Ho	-2,5	72,5 cm	7,6 cm	firme	podrido
				cm				

5.2.4. Recolección de hojarasca

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

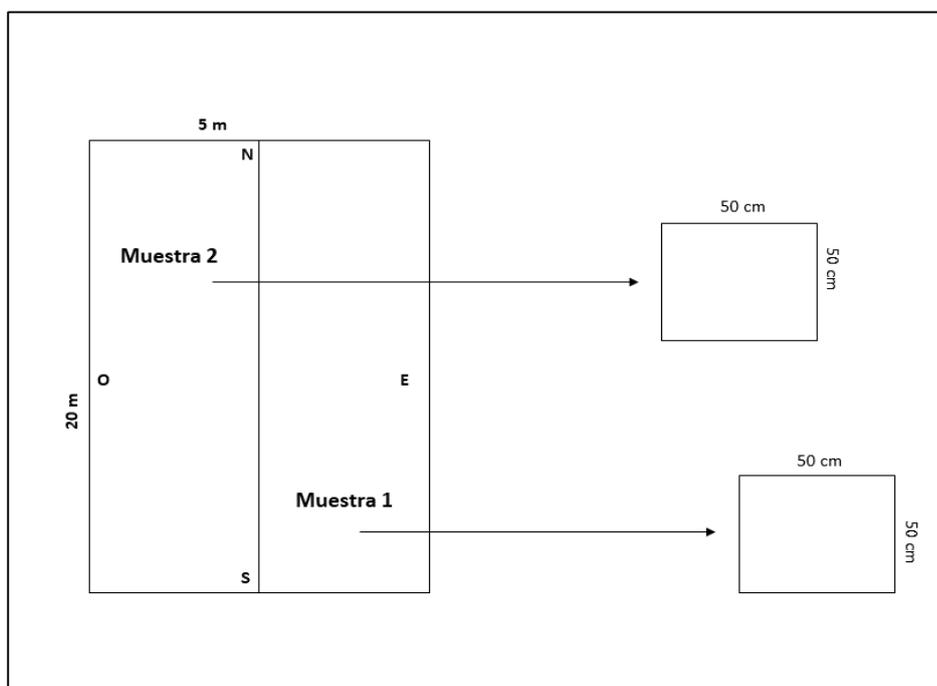


Figura 3. Esquema y distribución de parcelas para la medición de la carga de combustible de la hojarasca.

5.2.5. Secado de hojarasca

El secado de la hojarasca se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal, se colectó 60 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 cuando las muestras alcanzaron un peso constante y se procedió a hacer la conversión a toneladas de hojarasca por hectárea, lo que resulta la carga de combustible (Figura 4).



Figura 4. Secado de hojarasca en estufa a 55°C/24hrs

5.3. Determinación de la relación de factores ambientales en la cantidad de combustible forestal muerto, en las plantaciones *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm.

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: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, pendiente, profundidad de hojarasca y humedad absoluta, se utilizó el equipo Krestel 3500 (Figura 5).

Una vez que se organizaron los valores, se procedió a obtener estadísticas descriptivas y con los valores de los factores ambientales y la cantidad de combustible, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Se eliminó 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.



Figura 5. Medición de las variables ambientales.

5.4. Análisis de información

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos de la cuantificación de los combustibles forestales muertos se realizó en hojas de cálculo del programa Excel, donde se obtuvieron los valores totales del combustible forestal por categoría y plantación. Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ya que los datos no cumplieron los supuestos para el uso de pruebas paramétricas. Con la finalidad de saber si existían diferencias estadísticas significativas entre las categorías de combustible forestal muerto, igualmente se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar si existe una diferencia significativa de las categorías de combustible forestal muerto entre la plantación de pino y eucalipto.

La generación de diagrama de cajas y tablas, se lo realizó en el programa RStudio versión 4.2.2, utilizando los paquetes ggplot 2, ggbiplot, Corrplot, Rcpp, tidyverse y apaTables (Rstudio, 2020), para proyectar los valores de la carga de combustible forestal y valores de correlación del combustible forestal con los factores ambientales.

6. Resultados

6.1. Composición florística bajo la Plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

En las parcelas implementadas de la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham, se presentan 64 individuos, distribuidos en 9 especies y 9 familias, siendo la especie más abundante *Solanum aphyodendron* S. Knapp, con un total de 17 individuos (Tabla 5).

Tabla 5. Composición florística de la vegetación bajo la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

Especie	Familia	Número de Individuos
<i>Solanum aphyodendron</i> S. Knapp	Solanaceae	17
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	13
<i>Tournefortia fuliginosa</i> Kunth	Boraginaceae	12
<i>Inga acreana</i> Harms	Fabaceae	6
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Caprifoliaceae	6
<i>Piper</i> sp	Piperaceae	5
<i>Critoniopsis pycnantha</i> (Benth.) H.Rob.	Asteraceae	3
<i>Solanum cf. cutervanum</i> Zahlbr	Solanaceae	1
<i>Frangula granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Grubov	Rhamnaceae	1
Total		64

6.2. Composición florística bajo la plantación de *Eucalyptus saligna* Sm

En las parcelas de la plantación de *Eucalyptus saligna* Sm, se encuentra creciendo un total de 14 especies correspondientes a 80 individuos y 13 familias botánicas, donde las especies *Alnus acuminata* Kunth y *Eucalyptus saligna* Labill son las más abundante, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Composición florística de la vegetación bajo la plantación de *Eucalyptus saligna* Sm.

Especie	Familia	Número de individuos
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Betulaceae	23
<i>Eucalyptus saligna</i> Labill	Myrtaceae	23
<i>Tournefortia fuliginosa</i> Kunth	Boraginaceae	10
<i>Solanum cf. cutervanum</i> Zahlbr	Solanaceae	7
<i>Solanum aphyodendron</i> S. Knapp	Solanaceae	4
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	Primulaceae	3
<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	Melastomataceae	2
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae	2
<i>Verbesina cf. arborea</i> Kunth	Asteraceae	1
<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	Siparunaceae	1

<i>Frangula granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Grubov	Rhamnaceae	1
<i>Bocconia integrifolia</i> Bonpl.	Papaveraceae	1
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae	1
<i>Inga acreana</i> Harms	Fabaceae	1
Total		80

6.3. Carga total de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino y eucalipto

6.3.1. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

La plantación de pino presenta una carga total de combustibles muertos de 37,81 Mg ha⁻¹ de los cuales la categoría de combustible mediano/regular registran la mayor carga con un total de 13,31 Mg ha⁻¹ ($\pm 5,33$), mientras que la categoría con menor carga de combustible corresponde a grande/pesado podrido con una cantidad de 1,17 Mg ha⁻¹ ($\pm 0,62$). En la Tabla 7 se presentan los valores de las cargas o contenidos totales para las diferentes categorías de combustibles forestales muertos.

Tabla 7. Carga o contenido de combustible forestal muerto en las plantaciones de pino en el PUFVC.

Tipo de combustible	Contenido de combustible (Mg ha ⁻¹)	Representatividad (%)	Error Estándar Mg ha ⁻¹	Coefficiente de Variación (%)
Hojarasca	6,54*	17,30	1,30	130,40
Fino/Liviano	1,40	3,70	0,25	69,70
Pequeño/Ligero	3,16	8,36	0,58	71,35
Mediano/Regular	13,31	35,20	5,33	155,13
Grande/Pesado podrido	1,17	3,09	0,62	205,38
Grande/Pesado Firme	12,23*	32,35	2,42	76,84
Total	37,81	100,00	10,50	

La carga de combustible forestal muerto por categorías presentó diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p=0,0004349$ ($\alpha=0,05$). Las categorías Grande/pesado firme y hojarasca (Anexo 1), reportaron diferencias estadísticas, mientras que el resto de las categorías presentan cargas no significativas (Figura 5).

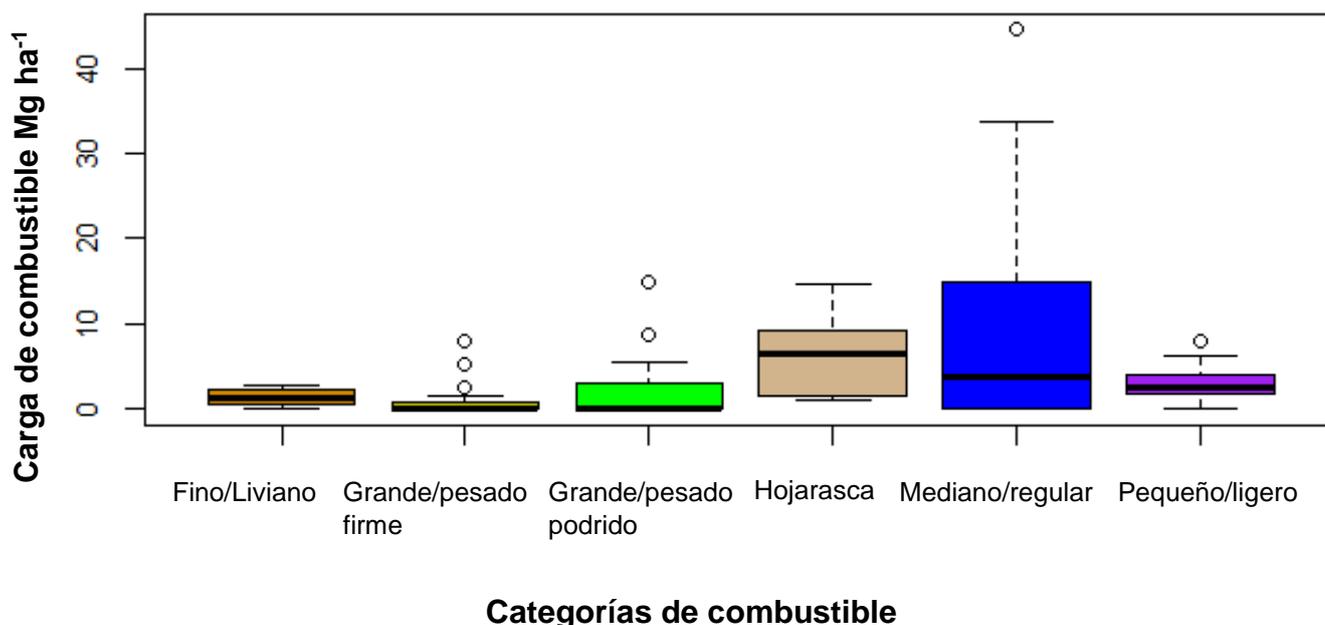


Figura 5. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham

6.3.2. *Eucalyptus saligna* Sm.

La plantación de Eucalipto presenta una carga total de combustibles muertos de 19,35 Mg ha⁻¹, de los cuales la categoría mediana/ regular registra la mayor carga con un total de 6,86 Mg ha⁻¹(± 3,11), mientras que la categoría con menor carga es fino/liviano con un valor de 1,06 Mg ha⁻¹ (± 0,25). En la Tabla 8 se presentan los valores de las cargas de combustible o contenidos totales para las diferentes categorías de combustibles forestales muertos.

Tabla 8. Carga o contenido de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de *Eucalyptus saligna* Sm del PUFVC

Tipo de combustible	Contenido de combustible (Mg ha ⁻¹)	Representatividad (%)	Error Estándar (Mg ha ⁻¹)	Coefficiente de Variación (%)
Hojarasca	2,54*	13,13	0,30	220,41
Fino/Liviano	1,06*	5,49	0,25	88,25
Pequeño/Ligero	1,99	10,29	0,58	109,67
Mediano/Regular	6,86	35,46	3,11	175,73
Grande/Pesado podrido	5,15	26,60	3,61	271,72
Grande/Pesado Firme	1,75	9,04	0,95	211,30
Total	19,35	100,00	8,80	

Las categorías de los combustibles forestales muertos presentaron diferencias estadísticamente significativas con un valor de $p = 0,0001088$ ($\alpha = 0,05$). Las categorías

Hojarasca y Fino/liviano (Anexo 2), reportaron diferencias estadísticas, mientras que el resto de las categorías presentan cargas no significativas (Figura 6).

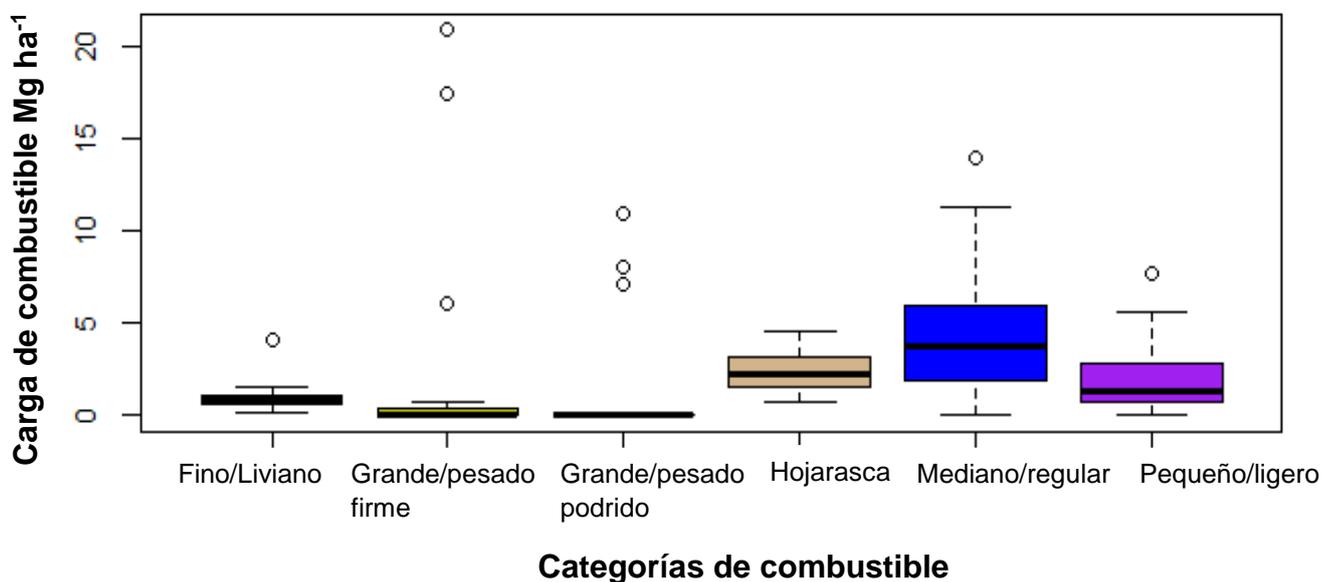


Figura 6. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación *Eucalyptus saligna* Sm.

6.3.3. Comparación de la carga de combustibles entre plantaciones.

La Tabla 9 presenta los valores obtenidos por categoría de combustible de la plantación de pino y eucalipto aplicando la prueba de Wilcoxon, cuyos valores no presenta diferencia estadística significativa.

Tabla 9. Comparación de la carga de combustibles forestales entre las plantaciones de pino y eucalipto del PUFVC.

Categoría de combustible	<i>Pinus patula</i> Mg ha ⁻¹	<i>Eucalyptus saligna</i> Mg ha ⁻¹	p-valor
Combustible total	37,81	19,35	0,05 ns
Hojarasca	6,54	2,54	0,13 ns
Fino/ Liviano	1,40	1,06	0,25 ns
Pequeño/ Ligero	3,16	1,99	0,097 ns
Mediano /Regular	13,31	6,86	0,56 ns
Grande/ pesado podrido	1,17	5,15	0,52 ns
Grande/ pesado firme	12,23	1,75	0,89 ns

ns: no significativo

6.4. Determinación de la relación de los factores ambientales con la cantidad de combustible forestal muerto, en las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Eucalyptus saligna* Sm

La humedad relativa, humedad absoluta y profundidad de hojarasca son los factores ambientales que influyen significativamente en la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones, los dos ejes explican el 78.4 % de la variabilidad de los datos, Figura 7 se presenta el análisis de componentes principales realizado para determinar la relación entre los factores estudiados.

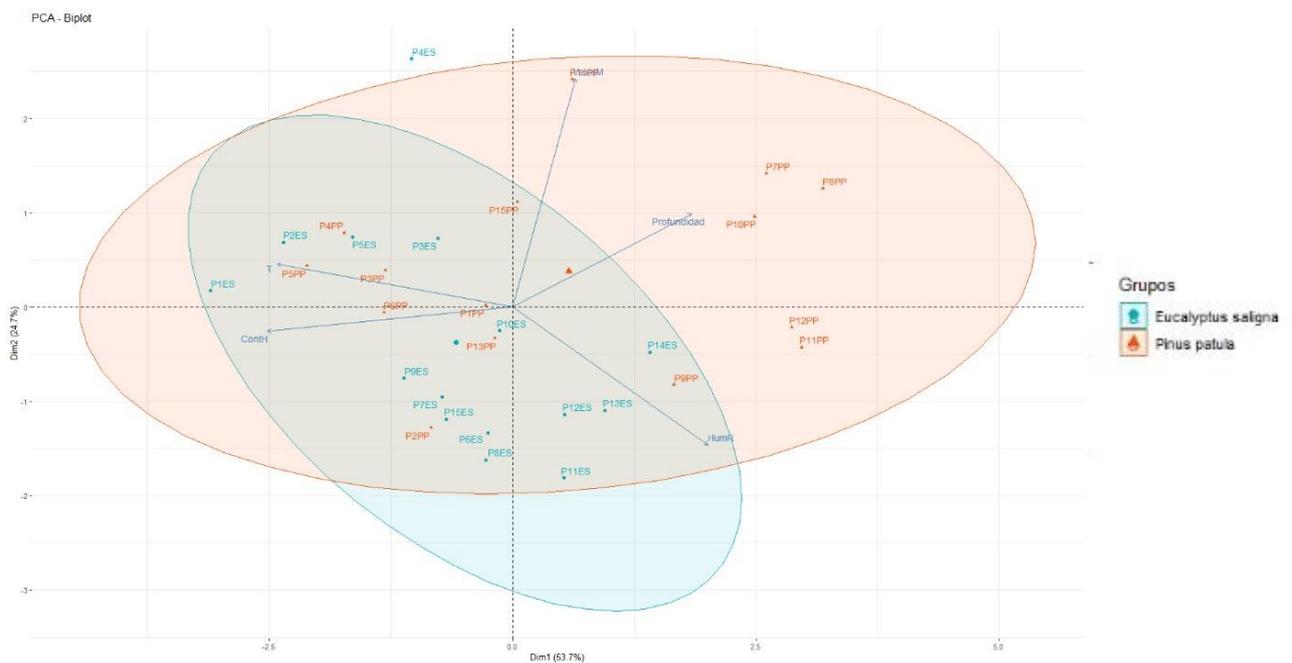


Figura 7. Análisis de componentes principales para la carga de combustible de las plantaciones.

De manera general, los factores ambientales de pendiente (%), temperatura (T), humedad relativa (HumR), contenido de humedad (ContH), poseen una relación fuerte y significativa ya que sus valores de correlación son mayores a 0,5. Así mismo existe una correlación que se direcciona de nula a moderada con valores de correlación menores a 0,5 para las variables de velocidad máxima y Profundidad; Humedad relativa y Profundidad; Pendiente y Velocidad máxima; Pendiente y Humedad relativa,

6.4.1. Plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham

En la tabla 10 se presentan los valores de correlación entre los factores ambientales y la carga de combustible forestal muerto, de los cinco ambientales analizados la velocidad máxima

del viento fue la que registró una asociación positiva entre moderada a fuerte, para el resto de variables la asociación fue escasa o nula.

Tabla 10. 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	Coeficiente de correlación	p-valor
Profundidad	13,23	9,40	0,28	0,12
Velocidad máxima del viento	1,87	0,78	0,69	0,003
Temperatura	23,33	2,42	0,18	0,30
Contenido de Humedad	74,86	5,77	0,02	0,54
Humedad Relativa	49,71	5,73	-0,10	0,33
Pendiente %	24,40	22,26	-0,03	0,94

6.4.2. Plantación de *Eucalyptus saligna* Sm

En la Tabla 11 se presentan los valores de correlación entre los factores ambientales y la carga de combustible forestal muerto, de los cinco factores ambientales analizadas la humedad relativa fue la que registró una asociación negativa moderada, mientras que para el resto de factores la asociación se encontró en un rango negativo.

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.

Variable	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de correlación	p-valor
Profundidad	5,84	1,60	-0,30	0,56
Velocidad máxima del viento	1,39	0,79	0,03	0,54
Temperatura	24,90	2,33	0,57	0,12
Contenido de Humedad	77,85	3,61	0,49	0,15
Humedad relativa	50,47	9,55	-0,56	0,0025
Pendiente %	4,70	9,41	0,25	0,30

7. Discusión

7.1. Cantidad de combustible forestal muerto presente en las plantaciones del PUFVC

El combustible forestal o vegetal muerto es muy importante para el manejo integral del fuego donde su inflamabilidad y carga total dependen de varias variables ambientales como, altitud, latitud, suelo, clima, pendiente (Ambiente, 2015), sin embargo esta carga puede variar en función a la etapa sucesional del ecosistema y al manejo silvicultural (Rodríguez, 1988).

La metodología de intersecciones planares que se aplicó para evaluar la cantidad de combustibles presente en las plantaciones de pino y eucalipto en el PUFV fue fácil de aplicar y permitió estimar la carga de combustibles forestales muertos bajo las condiciones actuales de las plantaciones en mención, por lo que, tal como lo mencionan Sánchez y Zercero (1983), y Díaz et al. (2012) constituyen un método que puede ser aplicado para cualquier tipo de vegetación.

La carga de contenido de combustible forestal muerto obtenido bajo la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham en el PUFVC fue de 37,81 Mg ha⁻¹, valor mayor al reportado en otras investigaciones con diferentes especies de pino, por ejemplo, Castañeda et al. (2015) menciona que la metodología de intersecciones planares para bosques densos de *Pinus hartwegii* y *Pinus rudis*, *P. donnell-smithii* registró valores de 25 Mg ha⁻¹, en semidenso 24 Mg ha⁻¹ y fragmentado 34 Mg ha⁻¹, siendo este último un valor cercano al obtenido en la investigación, mientras que Carmona et al. (2011) registraron para bosques templados dominados por la especie *Pinus montezumae* Lamb, cargas de combustible forestal muerto de 17,90 Mg ha⁻¹, y para áreas quemadas cargas de 10 Mg ha⁻¹. La diferencia de la carga de combustible forestal es debido al escaso manejo silvicultural en la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham (Aguirre et al., 2019), cuya carga de combustible puede ser afectada por factores ambientales como temperatura, pendiente, viento, y el crecimiento de otras especies en el sitio.

Por otra parte, Anaya (2017) muestra valores de 75,81 Mg ha⁻¹ dentro de una plantación de *Pinus maestrensis*, esto debido a que la especie actúa como invasora dentro del área de estudio (Cejas, 2007), reportó valores mucho más altos a los registrados en el PUFVC, lo que podría explicarse por la distribución de la especie (Urbino, 2016). Caballero, (2018) obtuvo una carga de 41,89 Mg ha⁻¹ y 45,54 Mg ha⁻¹ en plantaciones de *pinus sp*, resultados que están en relación a la densidad de los bosques. Así mismo, Chávez (2021) registró una carga de combustible forestal muerto de 42,35 Mg ha⁻¹ dentro de un bosque de Pinus-Quercus, siendo este un valor mayor al obtenido en la presente investigación. Estos resultados demuestran que la carga de

combustible forestal presente en la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham del PUFVC es considerable y mayor que la reportada en otros estudios lo que podría explicarse por la acumulación de material al no existir un manejo silvicultural, además de la presencia de especies vegetales que están desarrollándose bajo las plantaciones de pino (Aguirre et al., 2019), a lo que se suma la influencia que podrían ejercer algunos factores ambientales como temperatura, pendiente, viento, entre otras.

Con relación con las categorías del combustible forestal muerto dentro de la plantación de pino del PUFVC, muestra un valor de 3,16 Mg ha⁻¹ en la categoría pequeño/ ligero, siendo este un resultado similar al obtenido por Anaya (2017), el cual registra un valor de 3,5 Mg ha⁻¹ para la misma categoría, mientras que Muñoz (2005) en una investigación realizada en un bosque de *Pinus pseudostrabus* Lindl, presenta una carga de combustible forestal muerto menor con un valor de 1,2 Mg ha⁻¹ para la categoría pequeño/ ligero.

En lo que respecta a la hojarasca la plantación de pino del PUFVC presentó una carga de 6,54 Mg ha⁻¹, valores similares a los reportados por Rubio (2013) y Flores et al. (2005), quienes obtuvieron valores de 8,58 Mg ha⁻¹ y 6, 71 Mg ha⁻¹ respectivamente en bosques templados de pino-encino en Nuevo León y Chihuahua; sin embargo, estos valores son relativamente bajos en comparación con los reportados por Díaz et al. (2012) quienes encontraron un aporte de 16.81 ton ha⁻¹ en áreas afectadas por incendios forestales. Por lo tanto, el manejo de la hojarasca es un aspecto que debería ser considerado en áreas bajo plantaciones forestales.

Por otro lado la plantación de *Eucalyptus saligna* Sm, muestra un total de contenido de 19,35 Mg ha⁻¹, valores bajos con relación a la carga de combustible que presenta Ávila (2012) el cual registró 39, 65 Mg ha⁻¹, resultados que se relacionan con la ausencia de manejo en las plantaciones de dos plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus microtheca*, y *Eucalyptus camaldulensis*) (Nájera, 2004), así mismo Villa, (2018) obtuvo valores menores dentro de una investigación realizada en un bosque de encino con presencia de *Eucalyptus sp*, cuya carga de combustible forestal muerta fue de 15,27 Mg ha⁻¹ para zonas de ladera húmeda, mientras que para zonas de ladera seca el contenido fue de 6,97 Mg ha⁻¹, esta diferencia en la cantidad de carga de combustible se debe a condiciones ambientales del estudio (Augustine-Molumeli et al., 2008).

En lo que respecta a las diferentes categorías de combustible forestal muerto, en la plantación de eucalipto del PUFVC, la categoría mediano/regular fue de 1,06 Mg ha⁻¹ para la categoría finos/ livianos, valores menores a comparación con los obtenidos por Ávila (2012)

quien registró una carga de 24,31 Mg ha⁻¹, en la categoría mediano/regular y un valor de 2, 87 Mg ha⁻¹, para la categoría de finos/livianos.

Por otra parte en la categoría de hojarasca que presenta la plantación de *E saligna* del PUFVC, registró un valor de 2,54 Mg ha⁻¹, mientras que Anchaluisa (2013) resgistró 1,50 Mg ha⁻¹ de contenido de comustible forestal muerto en hojarasca, cortezas, ramas y frutos dentro de una plantación de *E. globulus*, valor inferior en relación con los obtenidos dentro de la plantación de *E. saligna*, esta diferencia se da debido que las zonas de *E.globulus* sufrieron incendios durante la época seca del año 2012, y sobre todo se marca esta diferencia ya que en la plantación de *E globulus* existe una considerable presencia del kikuyo , mientras que en la zonas de plantación del PUFVC la presencia del sotobosque es muy densa debido que existe una regeneración natural con especies nativa de la región (Aguirre et al., 2019).

7.2. Factores ambientales que se relacionan en el contenido de combustible forestal

Los combustibles forestales muertos son el resultado del proceso natural de caída de hojas, acículas, ramas y hojarasca, aunque también este es el resultado de varias actividades de aprovechamiento forestal (Díaz et al., 2012), se debe tener en cuenta que los combustibles son el único elemento del triángulo del comportamiento del fuego que el ser humano puede manipular, por lo que es necesario conocer su carga, así como su calidad y distribución (Mota, 2005).

El género *pinus* se puede encontrar tanto en terrenos planos, adyacentes a praderas, alpinas hasta pendientes pronunciadas y sobre todo estas se adaptan de una manera rápida a distintos ecosistemas (Trejo, 2001). Dentro de la plantación de pino del PUFVC se estableció una correlación entre la carga de contenido de combustible forestal muerto y diversos factores ambientales, siendo la humedad relativa, la humedad absoluta y la profundidad de la hojarasca los elementos que ejercen influencia en dicha carga. Este resultado concuerda de manera similar con lo previamente mencionado por Trejo (2001), quien estudió la ecología del fuego dentro un bosque de *Pinus hartwegii* en donde menciona que la humedad relativa influye en la carga de combustible forestal, mientras exista mayor humedad el material vegetal tendrá menor carga de combustible.

De este modo al transcurrir eventos que afectan la estructura de un bosque como incendios forestales moderados o de baja intensidad, pueden prevenir la formación del combustible forestal, debido que este se regenera y crea condiciones para un nuevo ecosistema (Carmona , 2016), dentro de las plantaciones del PUFVC se evidencia que las condiciones propicias para

la regeneración natural están presentes, favoreciendo la formación de una masa boscosa nativa y, de esta manera, contribuyendo al incremento de la carga de combustible forestal muerto. (Aguirre et al., 2019).

Otro de los factores ambientales que influyen en la carga de combustible forestal es la temperatura ya que a mayor temperatura se genera menor humedad relativa, y como consecuencia, la humedad en los combustibles también disminuye, ya que está altamente relacionado con la disponibilidad para la combustión (Nagy, 2021).

Dentro de la plantación de *E saligna* se determinó que el factor ambiental que más influye en la carga de combustible forestal muerto es el viento, ya que este acelera el proceso de secado de los combustibles, o puede transportar partes vegetativas de una planta ya deterioradas (Secretaría del Ambiente, 2020). Así mismo la precipitación, y la temperatura son elementos meteorológicos que influyen directamente en la humedad del combustible vegetal vivo y muerto (Manta, 2003).

Por otro lado Morfin (2012) menciona que variables ambientales como la velocidad del viento y las condiciones topográficas, pueden influir en los componentes del comportamiento del fuego como el combustible, el cual se relaciona con lo descrito por Gonzales (2004) quien alega que la carga de combustible forestal varía en respuesta a los cambios en la humedad relativa del aire y por otros aspectos del tiempo atmosférico que también contribuyen a la variación de dicha humedad como la temperatura, la radiación solar y el viento.

8. Conclusiones

La carga total de combustible forestal muerto podría incrementar el riesgo de sufrir afectaciones en el caso de presentarse un incendio forestal para las plantaciones de pino y eucalipto del Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

La plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham. presenta una carga de combustible forestal muerto mayor a la plantación de *Eucalyptus saligna* Sm; en ambas plantaciones la categoría de combustible forestal muerto regular/mediano es la que mayormente aportan al contenido de combustible. Por lo que, el conocimiento de la carga de combustible forestal muerto por categoría, son aspectos claves que deben considerarse para hacer un manejo de las plantaciones del parque.

La hojarasca representa el tercer combustible forestal muerto que mayor aporta a la carga de combustible total de las plantaciones de pino y eucalipto, por lo que se convierte en un combustible prioritario para su manejo por sus altos valores de inflamabilidad ante la ocurrencia de un incendio forestal.

La humedad relativa y velocidad máxima del viento muestran valores estadísticamente significativos, contribuyendo directamente al almacenamiento del combustible forestal muerto en plantaciones de pino y eucalipto del PUFVC.

El escaso manejo silvicultural en ambas plantaciones, sumada a la incidencia de los factores ambientales, convierte a las plantaciones de pino y eucalipto del PUFVC en un escenario vulnerable a la ignición de un incendio forestal en especial en época seca.

9. Recomendaciones

Aplicar esta metodología en otros tipos de cobertura vegetal del Parque Universitario Francisco Vivar Castro como; páramo y matorral, con la finalidad de conocer las cargas totales de combustibles forestales muertos y así formular planes de manejo.

Replicar este tipo de estudios en ecosistemas que han sido afectados por incendios forestales para realizar comparaciones entre la carga de combustible forestal muerto antes y después de un incendio.

Aplicar tratamientos silviculturales que contribuyan a reducir o controlar el aporte y acumulación de la carga de combustibles forestales muerto en las plantaciones del PUFVC.

10. Bibliografía

- Aguirre, Z. (2019). Sucesión natural bajo plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (Pinaceae) y *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae), en el sur del Ecuador. Loja.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300006&script=sci_arttext
- Augustine-Molumeli, P., Espinosa-Hernández, V., Ehsan, M., Benedicto-Valdez, S., Ojeda-Trejo, E., Cetina-Álcala, V. M., & Santamaría-Delgado, K. (2008). Lupines-invaded pine forest and cultivated scrublands in volcanic ash soils in Mexico: Dry-sieved aggregation and instability indices. *International Journal of Botany*, 4(4), 390-405.
- Ak OBUNDU I.O. (1990). The role of weed control in integrated pest management for tropical root and tuber crops. En: S.K. Hahn y F.E. Caveness (Eds.) *Integrated Pest Management for Tropical Root and Tuber Crops*, Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture, pp 23-29. Albuquerque.
- Aguirre Mendoza, Zhofre, Díaz Ordoñez, Elvis, Muñoz Chamba, Johana, & Muñoz Chamba, Luis. (2019). Sucesión natural bajo plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (Pinaceae) y *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae), en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 26(3), 943-964.
- Aguirre, N; Günter, S; Weber, M; Stimm, B. 2006. Enriquecimiento de plantaciones de *Pinus patula* con especies nativas en el sur del Ecuador. *Lyonia* 10(1): 33-45.
- Alvear, G. (1975). NOTAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO Y SU APLICACION EN EL CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES . bosque.
<http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v1n1/art04.pdf>
- Ambiente, M. d. (2015). METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN DE CAUSAS QUE PROVOCAN LOS INCENDIOS FORESTALES . Ministerio del ambiente.
http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2902/Technical/INVESTIGACION%20DE%20CAUSAS%20DE%20OCURRENCIA%20DE%20INCENDIOS%20FORESTALES.
- Ambiente, S. d. (2020). LibroDar. *LibroDar*. <https://noticias-librodar.com.ar/>
- Anaya, J. (2017). Acciones para la prevención de incendios forestales en cinco rodales del Lote 7 perteneciente a la Unidad Empresarial de Base Silvícola Guisa. *Ciencias forestales*.

- Anchaluisa, S. (2013). Efectos del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*; Myrtaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. (AVANCES, Ed.) Avances .
- Ávila, D. (2012). Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.
https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_426.pdf
- 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
- Alvear, G. (1975). NOTAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO Y SU APLICACION EN EL CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES . bosque.
<http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v1n1/art04.pdf>
- Applegate, R. N. (2001). Los incendios forestales y la diversidad biológica. Centro de investigación forestal internacional (CIFOR). <https://acortar.link/NmnUGq>
- Armijos, J. (2011). Monitoreo de la regeneración natural en zonas alteradas e identificación de especies forestales potenciales para recuperación hídrica en la microcuenca Jipíro, cantón Loja . Universidad Nacional de Loja.
- Barreiro, J. (2015). ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES Y SU INCIDENCIA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS. (U. E. MANABÍ, Ed.) UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ .
- Briones, F. A. (2014). manual de formación de incendios forestales. Natural de Aragon.
https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRI LLAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98
- Birkett, M. A., Chamberlain, K., Hooper, A. M., Pickett, J. A., & Blassioli-Moraes, M. C. (2011). Repellent and attractive effects of (+)- and (-)-catechin on the pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Phytochemistry*, 72(17),
- 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>

- 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
- Byram, G.M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, Kenneth P., ed. Forest fire control and use. New York: McGraw-Hill Book Co.
- CATIE. 1986. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos. San José, Costa Rica. 818 p.
- 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.
- 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>
- Carrere, R. (2005). Pinos y eucaliptos en el Ecuador símbolos de un modelo destructivo, (*)
 Coordinador del movimiento mundial para los bosques. Quito
- Cárdenas, L. (2010). Incendios forestales Guía práctica para comunicadores. Comisión Nacional Forestal.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Carmona, J. (2016). "Capítulo de Introducción: Ecología de Incendios".
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1FNwcQHcawAJ:https://docplayer.es/7405026-Capitulo-de-introduccion-ecologia-de-incendios.html&hl=es-419&gl=ec&strip=1&vwsr=0>
- Carmona, X. (2011). ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARGAS DE COMBUSTIBLES EN ECOSISTEMAS FORESTALES AFECTADOS POR INCENDIOS. Revista Mexica de Ciencia Forestales, P 7. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63438956004.pdf>

- Cevallos Rondón, J. L. (2017). Determinación de la ubicación geográfica de *Alnus nepalensis* D. Don en la zona de Intag noroccidente del Ecuador (Bachelor's thesis)
- Cejas, F. (2007). Diversidad vegetal, impactos y amenazas en la altiplanicie del Toldo . Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. La Habana, Cuba. <https://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/1037/GLOSARIO%20Y%20REFERENCIAS.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Chávez, Á. (Junio de 2021). Distribución espacial de cargas de combustibles en una parcela de muestreo de pino–encino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* . doi:: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.787>
- Cronin, D., & Reeve, I. (2015). The role of native eucalypts in habitat restoration: case study of a forgotten woodland remnant. *Ecological Management & Restoration*, 16(2), 165-178.
- CORPEI. (2012). Planeación Estratégica PLANTACIONES FORESTALES EN EL ECUADOR. Quito. http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_Plantaciones.pdf
- 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.
- Davis, Kenneth P.; Klehm, Karl A. 1939. Controlled burning in the western white pine type. *Journal of Forestry*. 37(5): 399-407.
- Denham, M. (2007). Predicción de Incendios Forestales Basada en Algoritmos Evolutivos Guiados por los Datos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. <https://core.ac.uk/download/pdf/13283059.pdf>
- Díaz, E., González, M., Jiménez, J., Treviño, E., & Ávila, D. (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, E. G. (2012). Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales. . Universidad Autónoma, 426-436. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/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>.
- Daniel Guerrero, Enrique vega y Gustavo Herrera. (1998). guía para plantaciones forestales comerciales. Santa Fe de Bogota: editores.
- Ebel, B. A.; & Moody, J. A. Synthesis of soil-hydraulic properties and infiltration timescales in wildfire-affected soils. *Hydrological Processes*, 2017, 31(2), 324–340. doi: 10.1002/hyp.10998
- Energía, A. E. (2013). La biomasa forestal. <https://www.agenex.net/images/stories/deptos/la-biomas-forestal.pdf>
- Eguiluz , T. 1986. Taxonomic relationships of *Pinus tecunumanii* from Guatemala. *Commonwealth Forestry Review*. 65(4): 303-313.
- Equipo RStudio (2020). RStudio: Desarrollo integrado para R. RStudio, PBC, Boston,
- FAO. (2010). Global forest resources assessment 2010: Main report. :
<http://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf>
- FAO. (2002). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000; Informe principal. Estudio FAO-Montes 140. Roma, Italia. 468p.
- FAO. (1981). *Eucalyptus saligna*. In: Investment Centre Division, Forestry Department. Industrial plantations and semi-natural forests. Rome, Italy.
- Flores-Garnica, G. (2018). Camas de combustibles forestales y carbono en México. *Scielo*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712018000400101
- Fernández, S. (2010). Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. La transformación de la biomasa.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18927/MEMORIA.%20IMPLANTACI%C3%93N%20PLANTA%20DE%20BIOMASA%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DE%20MASAS%20FORESTALES.%20AUTORES-CARMEN%20AMENGUAL%20ROMAN%C3%8D%20Y%20%20C3%81LVARO%20OTR~1.pdf>

- Frandsen, F. (2001). Argumentation et politesse dans la communication verte des hotels en Europe. En F. Mayer (Ed). Language for special purposes:perspectives for the new millennium.Vol.2:LSP in acameic discourse and in the field of law business and medicine (pp.839-845)Tibingen:Gunter Naeer Verlag.
- Flores, G. J. G.; Moreno, G. D. A. y Morfín, R. J. E. 2010. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. INIFAP, SAGARPA. Campo experimental Centro Altos de Jalisco. Folleto técnico Núm. 4. 69 p.
- Flores-Garnica, G. (2018). Camas de combustibles forestales y carbono en México. *Scielo*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712018000400101
- Flores, G.J.G.; De La Rosa, V.A. y Moreno G.D.A. 2005. Limitaciones de los modelos de combustibles forestales al comparar dos diseños de muestreo. *Rev. Ciencia Forestal* 28(93):57-77
- Gómez, Leire. (2017). Combustibles forestales y valoración técnico ambiental. Universidad de Navarra. https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/23242/LGF_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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>
- Giler, L. (2020). Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación e *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador.
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2438>
- Gonzales, A. R. (2004). LA PREDICCIÓN DE LA HUMEDAD EN LOS RESTOS FORESTALES COMBUSTIBLES; APLICACIÓN A MASAS ARBOLADAS EN GALICIA . UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID .
https://oa.upm.es/302/1/Ana_Daria_Ruiz_Gonz%C3%A1lez.pdf
- 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>.

- 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, A., et al. (2020). "Contribución económica de las plantaciones forestales: generación de empleo y sostenibilidad en la producción de madera." *Revista de Desarrollo Sostenible*, 30(2), 123-140.
- GOULD, W.A.; GONZÁLEZ, G.; HUDAK, T.A.; HOLLINGSWOTH, N.T. and 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.
- Gutiérrez-Granados, G., González-Sosa, E., & Rendón-Correa, A. (2013). Is germination ecology of two tropical pine species from Mexico related to habitat specialization and successional status? *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 140(2), 157-166.
- Granados. (2008). *FITOGEOGRAFÍA ECOLOGÍA DEL GÉNERO Eucalyptus*. (C. S. Ambiente, Ed.) *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6.
- Haltenhoff, H. (2006). *Silvicultura para la prevención de incendios forestales en plantaciones forestales*. Ministerio de agricultura CONAF, 18-22.
- Hawley, Ralph.(1982). *Silvicultura Práctica*. Editorial Omega. México.
- Handreck, K. A., & Forster, N. (1994). Structure and activity of phenolic acids from *Eucalyptus camaldulensis* leaves. *Journal of Chemical Ecology*, 20(6)
- Haltenhoff, Herbert . (1997). *Silvicultura Preventiva*, Corporación Nacional Forestal, Chile.
- Hoogstra, M. A., Veloza García, A., & Visschers, V. H. M. (2018). Evaluación de la sostenibilidad en plantaciones forestales en la provincia de Esmeraldas, Ecuador. *Bosque*, 39(2), 315-325.
- Jaqueline Xelhuanzi Carmona, J. G. (2011). ANÁLISIS COMPARATIVO DE CARGAS DE COMBUSTIBLES EN ECOSISTEMAS FORESTALES AFECTADOS POR INCENDIOS. *Centro de Investigación Regional Pacifico Centro*, 2(3). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n3/v2n3a4.pdf>

- Jerez, M. (2017). Regeneración natural inducida y plantaciones forestales con especies nativas: potencial y limitaciones para la recuperación de bosques limitaciones para la recuperación de bosques de Venezuela. *Ciencias forestales*
- Juste, I. (2022). Consecuencias de los incendios forestales. *Ecología verde*. <https://www.ecologiaverde.com/consecuencias-de-los-incendios-forestales-234.htm>
- 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 p
- Kleijn, D., & van Groenendael, J. (1997). The exploitation of heterogeneity by a clonal plant in ecosystems with contrasting nutrient availability. *Journal of Ecology*, 85(6), 707-715.
- Laborales, F. p. (2014). Naturaleza del Fuego . <https://www.cej.es/portal/asesoramientoprl/pdf/p4.pdf>
- Lindenmayer D, J Fischer. 2006. Habitat Fragmentation and Landscape Change. An Ecological and Conservation Synthesis. Washington D.C., USA. Island Press. 329 p
- 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>.
- 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.
- López, M., & Martínez, J. (2020). "Rol de las plantaciones forestales en la recuperación de suelos degradados: mejora de la calidad del suelo y prevención de la erosión." *Revista de Ciencia Ambiental y Gestión*, 45(4), 287-302.
- Lucas, A. (2012). Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad . Valladolid : Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- 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>
- Mario Fermin Castañeda Rojas, A. R. (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.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000200003
- 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.
- Masabanda, L. (2015). Medidas de prevención ante un incendio Forestal.
<https://sites.google.com/site/misitioweblrmm/home/anuncios>.
- Martínez, J., De las Heras, J. y Herranz, J. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.
- Mendoza, Z. A. (2014). PARQUE UNIVERSITARIO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y RECREACIÓN ING. FRANCISCO VIVAR CASTRO. Universidad Nacional de Loja.
<https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/parque-universitario-francisco-vivar-c-unl.pdf>
- MetEd, 2016. Intermedie Wildland Fire Behavior, S-290. [Online]:
https://www.meted.ucar.edu/fire/s290/unitl_es/navmenu.php?page=2.2.0
- Michel, J. M. (2019). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales.
https://www.researchgate.net/publication/260591485_Caracterizacion_y_cuantificacion_de_combustibles_forestales
- Ministerio del Ambiente (MINAM) Plan Nacional de Acción Ambiental, PLANAA 2011-2019. Informe Nacional del Estado del Ambiente-INEA 2012-2013
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, (2020), incendios forestales Ecuador,
<https://www.ambiente.gob.ec/>
- Mota, N. M. (2005). Modelagem de combustíveis florestais no Parque Nacional do Iguaçu. Floresta Curitiba.

- Moraga, J. (2010). EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA. redalyc. <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
- Morfin-Ríos, J.E., E.J. Jardel P., E. Alvarado C. y J.M. Michel-Fuentes. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Muñoz, C. (2005). Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. Scielo. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n56/n56a7.pdf>
- Munger, TT; Westveld, RH 1931. Eliminación de talas en los bosques de pino amarillo del oeste de Oregón y Washington.
- Naranjo Erick. (2014). Evaluación de la Carga de Combustibles Forestales en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca de Benítez, estado de Guerrero, México
- Navarro, Rosa; Torres, José Ignacio. (2019). Aprovechamiento energético de los residuos forestales en España. Universidad Politécnica de Madrid.: https://oa.upm.es/60511/1/TFG_ROSA_NAVARRO_PREIMPORTANCIA.pdf
- Nagy, A. (21 de 07 de 2021). Incendios forestales y su relación con la meteorología. meteoclim. <https://blog.meteoclim.com/incendios-forestales-y-su-relacion-con-la-meteorologia>
- Nájera, D. (2004). Manejo de combustibles forestales. Apuntes de la materia Control y Uso del Fuego. Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Noboa, S., Levitt, G., & Sherwood, P. (2011). Avances y desafíos en el manejo de plantaciones forestales en Ecuador. Revista Bosque Nativo, 50(1), 19-25.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (2002). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000; Informe principal. Estudio FAO-Montes 140. Roma, Italia. 468p.

Oña, E. (2016). Los Incendios Forestales en el área ecológica dentro del Cerro Ilaló, Valle de.
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5805/1/T-UCE-0013-Ab-051.pdf>

Oña, E. (2021). “Determinación de la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador”.
Universidad Nacional de Loja.

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24456/1/Evelyn%20Fabiola%20O%c3%b1a%20Gualotu%c3%b1a.pdf>.

Ocampo, K. (2018). Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. Madera y bosques.

<https://www.redalyc.org/journal/617/61760315018/html/>

Ospina Penagos, CM; Hernández Restrepo, RJ; Rincón, EA; Sánchez Ocampo, FA; Urrego Mesa, JB; Rondas Peláez, CA; Ramírez Cordoba, CA; Riaño Herrera, NM. 2011. El Pino pátula- guías silviculturales. Ed. Blanecolor. Manizales, Colombia, s.e., 105.

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.

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. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8529773.pdf>

Parra L., Á., & Bernal-Toro, F. (2011). Introducción a la ecología del fuego. En D. Armenteras-Pascual, F. Bernal-Toro, F. González-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

Pensado, J. (2014). PLANTACIONES FORESTALES VS. REGENERACIÓN NATURAL IN SITU: EL CASO DE LOS PINOS Y LA REHABILITACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL COFRE DE PEROTE. *Botanical Sciences*.

POORE, M.; FRIES, C. 1986. Les effects ecologiques des Eucalyptus. *F. A. O.* pp. 59-60.

- Plana, E. (2016). Los Incendios Forestales - Guia para Comunicadores y Periodistas. Proyectos eFIRECOM. <https://es.scribd.com/document/349567271/Los-Incendios-Forestales-Guia-para-Comunicadores-y-Periodistas#>
- Poma, E. (2022). Comportamiento histórico de los incendios forestales en el cantón Loja, provincia Loja, Ecuador, en el periodo 2011 – 2020. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4043/1/Poma%20Cabrera%20Edison%20Bolivar.pdf>
- 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
- Reed, D., Cossalter, C., & Mayrand, K. (2018). Plantations and protected areas: a global assessment.: <https://www.cifor.org/library/7114/plantations-and-protected-areas-a-global-assessment/>
- RICHTER, D.D. y CALVO, J.C. (1995). ¿Es una plantación forestal un bosque?. Revista Forestal Centroamericana. Turrialba, Costa Rica pp. 12-13.
- Richardson, D. M., Allsopp, N., D'Antonio, C. M., Milton, S. J., & Rejmánek, M. (2000). Plant invasions--the role of mutualisms. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 75(1), 65-93.
- 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-, D. (2001). ECOLOGÍA DEL FUEGO EN EL ECOSISTEMA DE *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/rodriguez-2001.pdf>.
- Rodríguez, D. (2012). Génesis de los incendios forestales. *SciELO*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182012000300008

- Rodrigues, 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.
- Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. In Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p. (Vol. 115).
- 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.
- Ruiz, V. (2022). INCENDIOS FORESTALES, CAMBIOS DE USO DE SUELO Y SU IMPACTO EN EL BALANCE HIDROLÓGICO DE LOS BOSQUES TEMPLADOS DEL CENTRO DE MÉXICO. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.
- Rusch, V. (2014). EFECTO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES SOBRE LA FAUNA EN LA PATAGONIA ANDINA. CORE.
- Rubio, C.E. 2013. Determinación de la carga de combustibles y su relación con la estructura forestal de un bosque mixto de pino-encino. UANL.10 p.
- Sabuco, P. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. Dialnet.
https://www.academia.edu/75453920/La_problema_tica_de_los_incendios_forestales_y_bases_para_su_teledeteccion_en_el_Peru
- Sánchez C., J. y. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. (CIFONOR, Ed.) Nota Divulgativa , 9, 15.
- 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_teor%C3%ADa_fuego.pdf
- Scott, J.H. & Reinhardt, E.D. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service. Res. Pap. RMRS-RP-29. Rocky Mountain Research Station.

- Tituaña, M. (2019). Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*,
- Trabaud, L. (1992). "Évolution des risques d'incendies dans une zone sensible: les Aspres (Pyrénées Orientales)". *geographical review*, 34-51.
- 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>
- Urbino, J. (2016). *Rehabilitación ambiental minera*. México. <https://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1037/6/CAP%C3%8DTULO%20II%20Ic1%20CARACTERIZACI%C3%93N%20BIOGEOGR%C3%81FICA.pdf>
- Úbeda, X., & Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152-161.
- Urzúa, N. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias. *REVISTA INTERAMERICANA DE AMBIENTE Y TURISMO*. *REVISTA INTERAMERICANA DE AMBIENTE Y TURISMO*
- Walker XJ, Rogers BM, Veraverbeke S, Johnstone JF, Baltzer JL, Barrett K, Bourgeau-Chávez L, Day NJ, Groot WJ, Dieleman CD, Goetz S, Hoy E, Jenkins LK, Kane ES, Parisien MA, 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
- Velez, Ricardo. (1987). *Manual de Prevención de Incendios Forestales Mediante Tratamiento del Combustible Forestal*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España.
- Vergara, T. G. (2010). *Biomasa Forestal*. SEMINARIO DE ELECTRONICA INDUSTRIAL. <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBiomasa.pdf>
- Villa, M. (2018). Propiedades físicas y dinámica de los combustibles forestales en un bosque de encino. *Scielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712018000200214&script=sci_arttext_plus&tlng=es
- 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.

Vinueza, M. (2013). Fichas técnica especies forestales Ecuador, Ficha n° 13 *Pinus radiata*, Ecuador forestal. Quito.

Voss, O., Aguirre, N., & Hofstede, R. (2001). Sistemas Forestales Integrales para la Sierra del Ecuador. Editorial Abya Yala

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.

11. Anexos

Anexo 1. Valores de la prueba no paramétrica de Wilcoxon, de la plantación de *Pinus patula*.

	Fino/ Liviano	Grande/ pesado firme	Grande/ pesado podrido	Hojarasca	Mediano /Regular
Grande/ pesado firme	0.8548	-	-	-	-
Grande/ pesado podrido	1.0000	1.0000	-	-	-
Hojarasca	0.1185	0.0032	0.0531		
Mediano /Regular	1.0000	0.1445	0.5580	1.0000	
Pequeño/ Ligero	0.2260	0.0497	0.6173	1.0000	1.0000
Fino/Liviano		0.8548	1.0000	0.1185	1.0000

Anexo 2. Valores de la prueba no paramétrica de Wilcoxon de la plantación de *Eucalyptus saligna*.

	Fino/ Liviano	Grande/ pesado firme	Grande/ pesado podrido	Hojarasca	Mediano /Regular
Grande/ pesado firme	0.1607	-	-	-	-
Grande/ pesado podrido	0.0612	1.0000	-	-	-
Hojarasca	0.0054	0.0656	0.0611		
Mediano /Regular	0.0278	0.1596	0.0996	1.0000	
Pequeño/ Ligero	1.0000	0.5073	0.3995	1.0000	0.5082
Fino/Liviano		0.1607	0.0612	1.0000	1.0000

Anexo 3. Coordenadas de las parcelas de las plantaciones de pino y eucalipto del PUFVC.

Plantación de pino			Plantación de eucalipto		
	Longitud	Latitud		Longitud	Latitud
Parcela 1	700015	9553781	Parcela 1	700615	9553683
Parcela 2	700024	9553787	Parcela 2	746000	9553703
Parcela 3	700051	9553805	Parcela 3	700038	9553144
Parcela 4	700024	9553804	Parcela 4	700028	9553758
Parcela 5	700061	9553801	Parcela 5	700028	9553746
Parcela 6	700445	9553986	Parcela 6	700046	9553762
Parcela 7	700402	9553987	Parcela 7	700301	9553817
Parcela 8	700381	9553996	Parcela 8	700264	9553868
Parcela 9	700351	9553989	Parcela 9	700306	9553875
Parcela 10	700336	9554004	Parcela 10	700282	9553873
Parcela 11	700302	9554011	Parcela 11	700223	9553909
Parcela 12	700265	9553993	Parcela 12	700242	9553905
Parcela 13	700172	9554015	Parcela 13	700302	9554899
Parcela 14	700154	9554015	Parcela 14	700312	9554855
Parcela 15	700145	9554007	Parcela 15	700317	9554814

Anexo 4. Tabla de correlación entre factores ambientales y contenido de humedad de *Pinus patula*.

Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1. Profundidad	12.23	9.40						
2. VeloxM	1.87	0.78	.22 [-.33, .66]					
3. T	23.33	2.42	-.55* [-.83, -.06]	-.12 [-.60, .42]				
4. ContH	74.86	5.77	-.58* [-.84, -.09]	-.32 [-.71, .23]	.78** [.45, .92]			
5. HumR	49.71	5.73	.59* [.11, .85]	.07 [-.46, .56]	-.81** [-.93, -.50]	-.88** [-.96, -.67]		
6. Pent %	24.40	22.26	.29 [-.26, .70]	.35 [-.19, .73]	-.51 [-.81, .00]	-.87** [-.96, -.65]	.70** [.29, .89]	
7. V-PP	3.07	2.47	.28 [-.27, .69]	.69** [.27, .89]	.18 [-.37, .63]	.02 [-.50, .52]	-.10 [-.58, .43]	-.03 [-.53, .49]

Note. *M* and *SD* are used to represent mean and standard deviation, respectively. Values in square brackets indicate the 95% confidence interval for each correlation. The confidence interval is a plausible range of population correlations that could have caused the sample correlation (Cumming, 2014). * indicates $p < .05$. ** indicates $p < .01$.

Anexo 5. Tabla de correlación entre factores ambientales y contenido de humedad de *Eucalyptus saligna*.

Means, standard deviations, and correlations with confidence intervals

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1. Profundidad	5.84	1.60						
2. VeloxM	1.39	0.79	.11 [-.43, .59]					
3. T	24.90	2.33	-.14 [-.61, .40]	.12 [-.41, .60]				
4. ContH	77.85	3.61	-.26 [-.68, .29]	-.05 [-.55, .48]	.74** [.36, .91]			
5. HumR	50.47	9.55	.20 [-.35, .65]	-.34 [-.73, .21]	-.89** [-.96, -.70]	-.50 [-.80, .02]		
6. Pent %	4.70	9.41	-.01 [-.52, .51]	.09 [-.44, .58]	.03 [-.49, .54]	.05 [-.47, .55]	.02 [-.50, .53]	
7. V-ES	2.06	2.13	-.30 [-.70, .25]	.03 [-.49, .54]	.57* [.08, .84]	.49 [-.03, .80]	-.56* [-.84, -.07]	.25 [-.30, .67]

Note. *M* and *SD* are used to represent mean and standard deviation, respectively. Values in square brackets indicate the 95% confidence interval for each correlation. The confidence interval is a plausible range of population correlations that could have caused the sample correlation (Cumming, 2014). * indicates $p < .05$. ** indicates $p < .01$.

Anexo 6. Instalación de transectos para la cuantificación del combustible forestal muerto.



Anexo 7. Instalación de cuadrantes para la recolección de hojarasca.



Anexo 8. Recolección de hojarasca.



Anexo 9. Toma de valores de los factores ambientales con el anemómetro.



Anexo 10. Certificado de traducción

Loja, 31 de enero del 2024

Brayan David Tigre Naranjo con número de cédula 1105862864, con certificado correspondiente al NIVEL B1, otorgado por la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja.

CERTIFICA:

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto con fecha 31/1/24, correspondiente al resumen del Trabajo de integración Curricular denominado, 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 Castro. Elaborado por Anderson Leandro Granda Armijos, con número de cédula 1106182486.

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



Brayan David Tigre Naranjo

Cédula: 1105862864

E-mail: brayan.tigre@unl.edu.ec



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de
Gestión Académico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN
INSTITUTO DE IDIOMAS

Mgtr. Leonardo Ramiro Valdivieso Jaramillo
SECRETARIO ABOGADO DE LA FACULTAD DE LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN

CERTIFICA:

Que: **BRAYAN DAVID TIGRE NARANJO** de nacionalidad Ecuatoriana, con cédula Nro. **1105862864**, luego de haber cumplido con los requisitos previstos para el efecto, **APROBÓ** los niveles de segunda lengua que a continuación se detallan:

CURSO/NIVEL	FORMA DE APROBACIÓN	CALIFICACIÓN
INGLES 1	Regular	8.87/10 (OCHO PUNTO OCHENTA Y SIETE SOBRE DIEZ)
INGLES 2	Regular	8.77/10 (OCHO PUNTO SETENTA Y SIETE SOBRE DIEZ)
INGLES 3	Regular	8.83/10 (OCHO PUNTO OCHENTA Y TRES SOBRE DIEZ)

Por consiguiente, una vez cumplidas las 768 horas académicas de instrucción obligatorias y de conformidad con la normativa reglamentaria institucional, la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja, emite el certificado que corresponde al **NIVEL B1** de suficiencia, tomando como referencia el Marco Común Europeo para las lenguas.

Certificado que se lo confiere a petición del interesado.

Loja, 17 de agosto de 2023



LEONARDO RAMIRO
VALDIVIESO
JARAMILLO

SECRETARIO ABOGADO

Mgtr. Leonardo Ramiro Valdivieso Jaramillo

Elaborado por: Ana Lucía Rodríguez Lima



Certificado B1 Nro.: UNL-FEAC-IDI-2023-001798

1/1

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconi Espinosa"
Casilla letra "S", Sector La Argelia - Loja - Ecuador

Educamos para Transformar