



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS**  
**NATURALES RENOVABLES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**“Determinación de la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador”**

**Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera Forestal**

**AUTORA:**

Evelyn Fabiola Oña Gualotuña

**DIRECTOR:**

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg.Sc.

**LOJA- ECUADOR**

**2021**



Loja, 03 de septiembre de 2021

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

**CERTIFICA:**

Que la señorita egresada Evelyn Fabiola Oña Gualotuña, con C.I: 1726182569, ha culminado con su tesis titulada: **“Determinación de la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador”**; la misma que ha sido desarrollada de acuerdo a la planificación y cronograma establecido. Se autoriza la continuación del trámite de graduación.

Atentamente,



Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg.Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Loja, 26 de noviembre de 2021

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.,

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS**

CERTIFICA:

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada: **“Determinación de la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo del Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador”**, de autoría de la señorita Evelyn Fabiola Oña Gualotuña, portadora de la cédula N° 1726182569, se informa que la misma ha sido revisada y se ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por el tribunal, motivo por el cual se procede a la aprobación y calificación del trabajo de Tesis de Grado.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
JOHANA  
CRISTINA MUNOZ  
CHAMBA

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.,

**PRESIDENTE**



Firmado electrónicamente por:  
ZHOFRE HUBERTO  
AGUIRRE MENDOZA

Ing. Zhofre Huberto Aguirre Mendoza PhD.,

**VOCAL**



Firmado electrónicamente por:  
NATALIA SOLEDAD  
SAMANIEGO ROJAS

Ing. Natalia Soledad Samaniego Rojas Mg. Sc.,

**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Evelyn Fabiola Oña Gualotuña declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Firma:**  Firmado electrónicamente por:  
**EVELYN FABIOLA  
ONA GUALOTUNA**

**Autora:** Evelyn Fabiola Oña Gualotuña

**Cédula:** 1726182569

**Fecha:** 26/11/2021

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Evelyn Fabiola Oña Gualotuña, declaro ser autora de la tesis titulada “**Determinación de la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo de Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniera Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 26 días del mes de noviembre de dos mil veintiuno, firma la autora.



Firmado electrónicamente por:  
**EVELYN FABIOLA  
ONA GUALOTUNA**

**Firma:**

**Autora:** Evelyn Fabiola Oña Gualotuña

**Número de cédula:** 1726182569

**Dirección:** Condominios San José La Banda, Loja, Ecuador

**Correo electrónico:** evelyn.ona@unl.edu.ec

**Teléfono:** 022347503

**Celular:** 0995904668

### DATOS COMPLEMENTARIOS:

**Director de Tesis:** Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg. Sc.

**Tribunal de Grado:** Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc. (Presidente)

Ing. Zhofre Huberto Aguirre Mendoza PhD. (Vocal)

Ing. Natalia Soledad Samaniego Rojas Mg. Sc. (Vocal)

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud eterna a Dios y a la virgen por darme salud, fortaleza y sabiduría para poder culminar con éxito este trabajo de investigación. A mis queridos padres por su apoyo incondicional, sacrificio y amor infinito, ellos han sido mi más grande motor y soporte para continuar cada día. A mis hermanos y hermana que han sido parte esencial en este camino tan maravilloso y que han velado por mi bienestar en todo momento. Así mismo a mis cuñadas, cuñado, sobrinos, sobrinas y demás familiares por todo su apoyo.

Así mismo a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, y de la manera más especial a la Carrera de Ingeniería Forestal y a su planta docente por formarme como persona y como profesional con valores éticos y morales.

Un efusivo agradecimiento al Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba M. Sc., por todo su apoyo, consejos y paciencia al dirigir mi tesis, por compartir sus valiosos conocimientos y por confiar en mí para trabajar en esta importante investigación. Un profundo agradecimiento a la Ing. Lucia Quichimbo y el Ing. Leonardo González por su apoyo y participación en el transcurso de esta investigación. A los pasantes y amigos que a pesar de la complicada situación tuvieron la predisposición de ayudar y ser parte de esta investigación gracias infinitas.

Finalmente, agradezco a Mishell por su amistad invaluable durante el transcurso de mi vida tanto estudiantil como personal. A mis demás amigas, amigos y compañeros por los más grandiosos momentos vividos en esta etapa y gracias por su apoyo y desinteresada ayuda, mi más grande anhelo de triunfo para ustedes.

**Evelyn Fabiola**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a Dios y a la Virgen por la fortaleza y determinación que recibí, ayudándome a sobrellevar las dificultades y circunstancias que atravesé en este trayecto.

De la manera más especial, a mis amados padres María Fabiola y José Sergio por el gran sacrificio realizado para permitirme cumplir este sueño, por su apoyo constante, su amor fraterno, ejemplo de principios, sacrificio, constancia y por sus consejos que hicieron que llegara hasta esta instancia de mi vida.

A mis queridos hermanos Darwin, Rita y Byron por sus ánimos, apoyo, respaldo y constante motivación durante este proceso ya que fueron un gran impulso para continuar.

A Jenifer, Steeven, Josúe, Genesis y Daniel mis queridos sobrinos con quienes viví hermosos momentos y recibí grandes manifestaciones de afecto, convirtiéndose en motivación para culminar esta anhelada meta.

A Nancy, Mirian y Diego quienes me brindaron su cariño en este trayecto.

Para usted papá Gonzalo, siéntase orgulloso.

A Mishell mi querida amiga y demás amigos que compartieron esta maravillosa etapa junto a mí.

**¡Para todos ustedes, que este triunfo es nuestro!**

**Evelyn Fabiola**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>PÁGINA</b>
<b>PORTADA</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TESIS</b> .....	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>III</b>
<b>AUTORÍA</b> .....	<b>IV</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>TITULO</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1.Incendios forestales .....	<b>4</b>
2.1.1. Tipos de incendios forestales .....	4
2.1.2. Elementos del triángulo del fuego .....	6
2.1.3. Elementos del triángulo de la propagación del fuego .....	7
2.1.4. Transmisión de calor .....	8
2.2.Combustibles forestales .....	<b>9</b>
2.2.1. Características de los combustibles .....	9
2.2.2. Clasificación de combustibles forestales .....	11
2.2.3. Combustibles forestales por su tamaño .....	11
2.2.4. Combustibles forestales por su tiempo de retardo .....	12

2.2.5. Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares.....	12
2.2.6. Biomasa forestal.....	12
2.3. Investigaciones realizadas sobre combustibles forestales .....	<b>13</b>
2.3.1. Investigaciones a nivel internacional.....	13
2.3.2. Investigaciones a nivel del Ecuador .....	14
2.3.3. Incendios forestales en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC).....	14
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
3.1. Área de Estudio .....	<b>16</b>
3.2. Metodología para cuantificar la cantidad de combustibles forestales muertos en el suelo presentes en el bosque nativo.....	<b>17</b>
3.3. Metodología para estimar la cantidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo .....	<b>21</b>
3.4. Análisis de información .....	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
4.1. Carga total de combustibles forestales muertos presentes en el bosque nativo .....	<b>24</b>
4.1.1. Distribución de la carga total de combustibles forestales muertos en el bosque nativo .....	25
4.2. Cantidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo.....	<b>27</b>
4.2.1. Cantidad de combustibles forestales vivos por familia.....	27
4.2.2. Cantidad de combustibles forestales vivos por especie .....	29
4.2.3. Distribución de la carga o cantidad de combustible forestal vivo en el bosque nativo .....	31
4.3. Relación entre la carga de combustibles forestales vivos y muertos en el bosque nativo.....	<b>32</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
5.1. Cantidad de combustibles forestales muertos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	34
5.2. Cantidad de combustibles forestales vivos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	37
5.3. Relación entre la carga de combustibles vivos y muertos en el bosque nativo o del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	39
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Mapa de ubicación del parque universitario “Francisco Vivar Castro” y el bosque nativo donde se realizó el estudio. ....	17
Figura 2. Esquema de líneas de intersección para medición de combustibles forestales muertos. ....	18
Figura 3. Puntos de medición de los tipos de combustibles forestales muertos .....	19
Figura 4. Distribución de la carga total de los combustibles forestales muertos por tipo de combustible presentado en un box plot.....	25
Figura 5. Dendograma de la carga total de combustibles forestales muertos por parcela .....	26
Figura 6. Ubicación de la distribución de las parcelas en el bosque nativo.....	26
Figura 7. Cantidad de combustibles forestales vivos por familia .....	28
Figura 8. Cantidad de combustibles forestales vivos por especie forestal.....	30
Figura 9. Cluster de la biomasa viva en las 24 parcelas del bosque nativo .....	32
Figura 10. Ubicación de la distribución de las parcelas con biomasa viva en el bosque nativo .....	32
Figura 11. Asociación lineal positiva entre las variables combustibles forestales vivos y muertos.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1. Clasificación de combustibles forestales por su tiempo de retardo .....	11
Tabla 2. Tipo de combustible forestal muerto y distancia de medición en las líneas de intersección .....	19
Tabla 3. Fórmulas para la obtención de la carga o contenido del combustible forestal muerto en función de cada clase .....	20
Tabla 4. Hoja de campo utilizada para el levantamiento de información de material combustible muerto .....	21
Tabla 5. Hoja de campo para el levantamiento de información de la biomasa de árboles mayores a 5 centímetros de diámetro .....	22
Tabla 6. Carga total de combustibles forestales muertos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	24
Tabla 7. Carga o cantidad de combustible forestal vivo presente en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	27
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la carga o cantidad de combustibles forestales vivos de las 10 familias más representativas del bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” .....	28
Tabla 9. Carga o cantidad de combustible forestal vivo de las 10 especies más representativas del bosque nativo .....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

CONTENIDO.....	PÁGINA
Anexo 1. Medidas resumen de la carga total de combustibles forestales muertos.....	51
Anexo 2. Prueba de Kruskal Wallis para determinar las diferencias entre los tipos de combustibles .....	51
Anexo 3. Carga total de los tipos de combustibles forestales muertos por parcela en Mg ha <sup>-1</sup> .....	51
Anexo 4. Cálculo combustible muerto por parcela del bosque nativo en Mg ha <sup>-1</sup> .....	52
Anexo 5. Análisis estadístico de la biomasa aérea y biomasa de la raíz .....	53
Anexo 6. Cálculo combustible vivo por familia forestal del bosque nativo .....	53
Anexo 7. Análisis estadístico de las familias del bosque nativo.....	55
Anexo 8. Cálculo combustible vivo por especie forestal del bosque nativo .....	55
Anexo 9. Análisis estadístico de las especies del bosque nativo .....	58
Anexo 10. Cálculo combustible vivo por parcela del bosque nativo en Mg ha <sup>-1</sup> .....	59
Anexo 11. Análisis estadístico prueba Shapiro-Wilks.....	60
Anexo 12. Análisis estadístico coeficiente de correlación.....	60

**“Determinación de la cantidad de combustibles forestales  
presentes en el bosque nativo del Parque Universitario Francisco  
Vivar Castro, Loja, Ecuador”**

## RESUMEN

La diversidad de ecosistemas en los trópicos es exuberante y, Ecuador por su ubicación territorial, es considerado uno de los países megadiversos del mundo, sus condiciones ambientales y geográficas producen diferentes cantidades y calidades de combustibles que es uno de los elementos para que exista el fuego. La presente investigación se realizó en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, situado en el cantón y ciudad Loja, con una superficie aproximada de 99 ha. El objetivo general fue contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego mediante la determinación de la cantidad de combustibles forestales en los bosques andinos que sirva como insumo para el manejo integral del fuego. Se instalaron 24 parcelas temporales de 20 m x 20 m divididas en dos fajas de 10 m x 20 m donde se registró información de combustibles forestales muertos en las categorías livianos, ligeros, medianos y pesados (firmes y podridos), por medio del método de líneas de intersección. Para determinar la carga o cantidad de los combustibles muertos se utilizaron fórmulas que requirieron el uso de variables como pesos específicos de cada tipo de combustible, factor de corrección de pendiente, suma de diámetros al cuadrado de ramas o trozas y la suma de longitudes de las líneas de intersección. Para estimar la cantidad de combustibles forestales vivos se levantó información de los diámetros de cada individuo con  $DAP \geq 5$  cm, y posteriormente se calculó la biomasa aérea y de la raíz por medio de ecuaciones alométricas. La carga total de combustibles muertos fue de 32,53 Mg ha<sup>-1</sup>, los combustibles medianos tuvieron la mayor carga con un total de 7,60 Mg ha<sup>-1</sup> y la hojarasca la menor carga 3,55 Mg ha<sup>-1</sup>. Sobre la composición florística del bosque se registraron 900 individuos, 46 especies, 36 géneros y 27 familias, la cantidad total de combustible forestal vivo fue de 116,52 Mg ha<sup>-1</sup>, la biomasa aérea posee un total de 89,63 Mg ha<sup>-1</sup> y la biomasa de la raíz un total de 26,89 Mg ha<sup>-1</sup>. Las especies de mayor contenido de combustible fueron *Alnus acuminata* Kunth con 67,50 Mg ha<sup>-1</sup> y *Oreopanax rosei* Harms con 10,52 Mg ha<sup>-1</sup>, ambas representaron el 67 % de la biomasa total del combustible vivo, mientras que *Acalypha diversifolia* Jacq., *Mauria heterophylla* Kunth, *Miconia* sp., *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers. y *Oreopanax andreanus* Marchal fueron las que registraron cantidades inferiores a 0,02 Mg ha<sup>-1</sup>. Las mayores cargas o contenidos de combustible forestal vivo y muerto se concentraron en las partes medias del bosque nativo donde presenta mejor estado de conservación. El coeficiente de correlación de Pearson ( $r = 0,57$  y un p valor significativo de 0,0039) identificó una asociación positiva moderada entre los combustibles vivos y muertos. Los valores de la carga total de combustibles forestales vivos y muertos que se registran para

el bosque nativo del parque universitario constituyen las bases para el inicio de investigaciones relacionadas con el manejo integral del fuego, pues la presencia de estos combustibles en diferentes cantidades y proporciones convierten al bosque en un escenario potencial frente a un incendio forestal.

**Palabras clave:** bosque, combustible, hojarasca, biomasa, incendio

## ABSTRACT

The diversity of ecosystems in the tropics is exuberant and Ecuador, due to its territorial location, is considered one of the megadiverse countries in the world, its environmental and geographical conditions produce different quantities and qualities of fuels, which is one of the elements for the existence on fire. This research was conducted in the university park "Francisco Vivar Castro", belonging to the National University of Loja, located in the canton and city of Loja, with an approximate area of 99 ha. The general objective was to contribute to the knowledge of fire behavior by determining the amount of forest fuels in the andean forests that can be used as an input for integrated fire management. Twenty-four temporary plots of 20 m x 20 m, divided into two sections of 10 m x 20 m, we recorded information, such as light, small light, medium, and heavy (firm and rotten) dead forest fuels, using the method of intersecting lines. To determine the number of dead fuels, formulas were used that required variables such as specific weights of each type of fuel, slope correction factor, the sum of squared diameters of branches or logs, and the sum of lengths of the intersecting lines. To estimate the number of live forest fuels information was collected on the diameters of each individual with  $DBH \geq 5$  cm, and subsequently, the aerial and root biomass was calculating using allometric equations. The total quantity of dead fuels was  $32,53 \text{ Mg ha}^{-1}$ , the medium fuels had the highest load with a total of  $7,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ , and the litter had the lowest load of  $3,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ . We recorded 900 individuals, 46 species, 36 genera, and 27 families, and the total amount of live forest fuel was  $116,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ , the aerial biomass has a total of  $89,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ , and the root biomass a total of  $26,89 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The species with the highest fuel content were *Alnus acuminata* Kunth with  $67,50 \text{ Mg ha}^{-1}$  and *Oreopanax rosei* Harms with  $10,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ , both represented 67 % of the total live fuel biomass, while *Acalypha diversifolia* Jacq., *Mauria heterophylla* Kunth, *Miconia* sp., *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers, and *Oreopanax andreanus* Marchal are the ones that registered amounts lower than  $0,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The highest quantities of live and dead forest fuels were concentrated in the middle parts of the native forest, where it is in a better state of conservation. Pearson's correlation coefficient ( $r = 0,57$  and a significant p value of 0,0039) identified a moderate positive association between live and dead fuels. The total quantities of live and dead forest fuels recorded for the native forest of the university park constitute the basis for the initiation of research related to integrated fire management since the presence of these fuels in different amounts and proportions make the forest a potential scenario for a forest fire.

**Key words:** forest, fuel, litter, biomass, fire.

## 1. INTRODUCCIÓN

La diversidad de ecosistemas existentes a nivel global es exuberante, los bosques ocupan en la actualidad el 30,8 % de la superficie terrestre mundial con un total de 4 060 millones de hectáreas, aproximadamente 0,5 ha por persona; además, son el hábitat de alrededor del 60 % de las plantas vasculares (FAO y PNUMA, 2020). En los trópicos, Ecuador es uno de los países considerados megadiversos a nivel mundial, debido a la variabilidad de ecosistemas y por el número de especies por unidad de área. Los ecosistemas forestales del Ecuador albergan una gran cantidad de biodiversidad, por lo que mantener su estructura y funcionamiento es importante para su conservación. En el país existen aproximadamente 18 500 especies de plantas vasculares, alrededor de 5 700 especies endémicas y es el quinto país con mayor diversidad en el continente americano (Ulloa, 2019). La diversidad de condiciones ambientales y geográficas existentes en un territorio, como el caso de Ecuador, define una gama de ecosistemas, que producen diferentes cantidades y calidades de combustibles (Xelhuantzi et al., 2011).

Los bosques albergan la mayor parte de la biodiversidad terrestre del planeta y están amenazados por los incendios forestales que son una de las principales causas de deterioro ambiental y degradación de los ecosistemas a nivel global, impactando negativamente a las masas forestales, suelo, fauna, biodiversidad (Erazo y Hervas, 2014). Según la FAO (2020) alrededor de 98 millones de hectáreas de bosque fueron afectadas por incendios en 2015, esto se produjo principalmente en las zonas tropicales, donde el fuego quemó alrededor del 4 % de la superficie forestal total en ese año, siendo África y América del Sur las zonas más afectadas con más de dos tercios de la superficie forestal total quemada.

Para que exista el fuego uno de los elementos de importancia es el combustible, por lo que la carga o cantidad de combustibles forestales afecta en el comportamiento de un incendio forestal; y, es el único factor que puede ser controlado por el ser humano de los tres componentes del triángulo del comportamiento del fuego (Caballero et al., 2018). Los bosques tropicales húmedos latifoliados son ecosistemas sensibles al fuego donde ocurren incendios intensos, frecuentes y de larga duración, donde la mayor parte de las plantas y animales no se adaptan o no se recuperan rápidamente lo que produce una transformación del ecosistema ya que poseen una vegetación que inhibe la ocurrencia o la propagación del fuego. Los incendios en estos ecosistemas pueden influenciar su estructura y la abundancia relativa de las especies a largo plazo, limitar el tamaño del ecosistema o ambos (The Nature Conservancy, 2004). Los

efectos de los incendios dependen del tipo de ecosistemas y de las condiciones ambientales donde se presente este fenómeno y en ocasiones cuando las especies no desarrollan un mecanismo que les permita adaptarse al fuego corren el peligro de desaparecer de ese hábitat (Chávez et al., 2016).

En Ecuador, los incendios forestales han ocasionado un graves impactos en la biodiversidad y, la información sobre los efectos es escasa y se encuentra dispersa; los incendios ocurren en todas las regiones de Ecuador principalmente en la región Sierra que soporta la mayor cantidad de eventos (Pazmiño, 2019). Según el Ministerio de Ambiente y Agua Ecuador (2020) en el país los incendios se producen en un 70 % por causas antrópicas, 25 % por negligencia en quemas agrícolas y 5 % por causas naturales (rayos) o producto del abandono de botellas de vidrio en los bosques. Según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2020) durante el año 2020 los incendios forestales han ocasionado la pérdida de 27 904,91 hectáreas de cobertura vegetal en 2 336 eventos registrados, siendo las provincias más afectadas Pichincha, Azuay, Guayas, Chimborazo y Loja, ésta última con la mayor afectación con un total de 192 incendios forestales y una superficie de cubierta vegetal quemada de 6 024 hectáreas.

Las investigaciones sobre combustibles forestales en los diferentes ecosistemas y su influencia en la incidencia de incendios forestales en Ecuador son muy limitadas y no existe evidencia de información documentada, la generada se centra básicamente en estadísticas de incendios, cobertura vegetal afectada, y efectos en la biodiversidad y gremios ecológicos (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2020; Troya, 2017), comportamiento del fuego en combustibles superficiales en plantaciones (Giler, 2020; Pico, 2018) , impacto en la flora del páramo y en áreas seminaturales (Sarango et al., 2019; Sarango, 2016), incendios forestales asociado a factores climáticos y zonas de ocurrencia (Pazmiño, 2019; Columba et al., 2016), planes de contingencia, sistemas de detección de incendios y red de sensores (Peralta, 2017; Valle y Brito, 2016; Arellano et al., 2015; Erazo y Hervas, 2014) y consecuencias jurídicas a causa de incendios (Oña, 2016; Agama, 2016).

El parque universitario “Francisco Vivar Castro” es un área destinada a la conservación de la biodiversidad y utilizada para realizar prácticas de campo estudiantiles, procesos de educación ambiental, y es un sitio vulnerable ante incendios forestales. En los últimos años se han registrado incendios que han alterado zonas de gran importancia, como el bosque, páramo y matorral afectando un total de 7 ha en el año 2010 (Aguirre y Yaguana, 2014), 9,2 ha en el

2017 y aproximadamente una hectárea en el 2020. La presente investigación pretende generar conocimientos respecto a la cantidad de combustibles forestales presentes en el bosque nativo, que sirva como insumo y sea considerado en la elaboración de planes o instrumentos de gestión para la prevención de incendios y para la toma de decisiones en cuanto al manejo integral del fuego. Los objetivos que se plantearon fueron:

#### Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego mediante la determinación de la cantidad de combustibles forestales en los bosques andinos que sirva como insumo para el manejo integral del fuego.

#### Objetivos específicos

- Cuantificar la cantidad de combustibles forestales muertos en el suelo presentes en el bosque nativo del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.
- Estimar la cantidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Incendios forestales**

Pausas (2012) lo define como fuegos que se propagan sin control humano; cuando ocurren en la naturaleza se denominan incendios forestales. Está relacionado con una clasificación tradicional de los usos del suelo, donde el uso forestal incluye cualquier zona terrestre que no sea de uso urbano ni agrícola. De esta forma se refiere a los incendios que no pueden ser controlados sea de origen natural o antrópico que ocurren en los ecosistemas terrestres y se propagan por la vegetación sea esta del tipo bosque, sabana, matorral, pastizal, humedal, turbera.

Agama (2016) menciona que un incendio forestal es el fuego que se extiende sin control en terreno forestal o silvestre, afectando a combustibles vegetales, flora y fauna. Un incendio forestal se distingue de otros tipos de incendios por su amplia extensión, 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.

La Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador (2020) define a un incendio forestal como el fuego que se propaga sin control especialmente en zonas rurales, afectando la vegetación como árboles, matorrales, pastos y cultivos. Mientras que, para el Ministerio Ambiente y Agua Ecuador (2020) los incendios forestales son fenómenos que se presentan cuando uno o varios materiales combustibles en bosques, selvas y otro tipo de zonas con vegetación son consumidos en forma incontrolada por el fuego, mismo que puede salirse de control y expandirse muy fácilmente sobre extensas áreas.

#### **2.1.1. Tipos de incendios forestales**

Cochrane (2010) menciona que dado que los combustibles, el clima y el terreno suelen variar en pequeñas escalas espaciales o temporales, los incendios forestales rara vez son constantes y homogéneos en su comportamiento o en sus efectos sobre grandes áreas. Los incendios pueden propagarse a lo largo de la superficie del suelo, debajo de él, o incluso por encima de él, si la estructura de la vegetación lo permite. La nomenclatura para estos comportamientos del fuego son los incendios de superficie, los incendios terrestres (subterráneos) y los incendios de corona (aéreos), los incendios forestales individuales pueden exhibir cualquiera o todos estos comportamientos generales del fuego. Cada uno de estos comportamientos del fuego se describe brevemente a continuación.

### ➤ **Incendios superficiales**

Estos incendios queman los escombros sueltos en la parte superior del suelo, incluyendo combustibles como ramas muertas, hojas y vegetación de bajo crecimiento. Estos incendios pueden ser de combustión en llamas o sin llamas. Como la tasa de propagación de este último es típicamente baja <10 centímetros por hora, la gran mayoría de la superficie se quema por combustión en llamas y las tasas de propagación e intensidad de los incendios de superficie en llamas se ven fuertemente afectadas tanto por el viento como por el combustible. Es más probable que los incendios en la superficie maten los árboles al dañar sus troncos cerca del nivel del suelo, pero el calor por convección también puede quemar el follaje (Cochrane, 2010).

### ➤ **Incendios de Copa o Aéreos**

En este tipo de incendios las copas de los árboles se queman en diferentes grados: incendios de copas pasivos, copas activos e independientes. Los incendios de copas pasivo suceden cuando la intensidad del fuego de un incendio superficial, como hojas, ramas y troncos, es lo suficientemente grande para encender las copas de los árboles. En incendios de copas activos, la quema de las copas y la quema de combustible presente en la superficie suceden simultáneamente. El incendio superficial libera energía suficiente para sostener y propagar la quema de las copas. Algunos factores que ayudan a la propagación de los incendios son la distancia entre copas, velocidad del viento y la densidad de la copa. Los incendios de copas independientes son resultado de la propagación del fuego por vientos extremos. Aquí, el frente de fuego avanza rápidamente (Carvajal, 2019).

### ➤ **Incendios subterráneos**

Los incendios subterráneos consumen material orgánico por debajo del nivel de la superficie, son generalmente de combustión lenta 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 continuar durante semanas, meses o años. Estos incendios calientan y matan las raíces de la vegetación superpuesta y emiten enormes cantidades de emisiones de partículas (Cochrane, 2010).

### **2.1.2. Elementos del triángulo del fuego**

#### **➤ Combustible**

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. Resultan del proceso natural de caída de hojas, ramas, acículas, humus y actividades humanas, como el aprovechamiento forestal. Se clasifican según su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación y su tiempo de retardo (Brown et al., 1982)

#### **➤ Comburente u oxígeno**

El calor y el combustible no son suficientes para crear el proceso de combustión, sin suficiente oxígeno no habrá fuego. Cuanto más caliente es el ambiente, menos oxígeno se necesita para mantener la combustión en llamas. Una vez iniciada la combustión ardiente puede continuar a niveles de oxígeno muy bajos. En los incendios forestales el oxígeno raramente se limita fuera de los combustibles fuertemente empaquetados (turba). Sin embargo, durante los incendios intensos, el oxígeno puede agotarse localmente, lo que permite el sobrecalentamiento de los gases volátiles que estallan en llamas una vez que se expanden y se mezclan con el aire oxigenado. En los ecosistemas expuestos, el viento puede ser el factor principal que controla el comportamiento del fuego. Los cambios en la dirección del viento también pueden cambiar rápidamente la velocidad y la dirección de la propagación del fuego (Cochrane, 2010).

#### **➤ Fuente de calor o ignición**

La ignición puede ser natural o de origen antrópico, la mayoría de las fuentes naturales son los rayos, pero hay otros factores como volcanes que pueden desencadenar incendios, las actividades humanas han alterado de forma considerable el combustible en el paisaje y, por lo tanto, junto con las modificaciones en las igniciones, se ha ido cambiando el régimen del fuego (Pausas, 2012). Para iniciar una combustión, el combustible debe desprender vapores, que se consigue mediante el calor, para que la mezcla de gas combustibles y oxígeno comience a arder necesitamos una fuente de ignición que puede ser fuego, una chispa, un cigarrillo encendido, es decir calor (Botta, 2013).

### **2.1.3. Elementos del triángulo de la propagación del fuego**

Según Ramos et al. (2013) la propagación del fuego se determina por el material combustible presente, las condiciones meteorológicas y la topografía mismas que determinan, durante el desarrollo de un incendio, las magnitudes de los parámetros del comportamiento y las características del incendio.

#### **➤ Material combustible**

El material combustible es esencial para la ocurrencia y propagación del fuego, es uno de los componentes tanto del triángulo de la combustión como del triángulo de la propagación. Todo lo que se encuentra en el bosque, es combustible. Según la ubicación, los combustibles forestales pueden clasificarse en aéreos y superficiales. Cada una de estas categorías puede evaluarse en términos de cantidad, tipo y disposición. Los combustibles superficiales son todos aquellos situados sobre o inmediatamente encima de la superficie del bosque. Pueden ser materiales vivos o muertos tales como hojas, ramas y troncos caídos, gramíneas, hierbas, arbustos, humus y turbas. Los combustibles aéreos incluyen las copas y ramas de los árboles, tocones, musgos y arbustos altos (por encima de 1,80 m). Pueden ser vivos o muertos y están físicamente separados del suelo, formando el dosel del bosque (Ramos et al., 2013).

#### **➤ Condiciones meteorológicas**

Según Ramos et al. (2013) son el estado momentáneo de la atmósfera en un lugar determinado, como la temperatura, humedad, velocidad y dirección de los vientos, etc. Puede ser impredecible y no se puede controlar o manejar sino adaptarse. Las variables meteorológicas brindan condiciones favorables para la ocurrencia de incendios forestales, la región andina posee dos estaciones marcadas lo que ocasiona fuertes lluvias en una época del año y extensas sequías en otra, lo que provoca un mayor número de incendios forestales. La advección de masas de aire desde el pacífico trae humedad a los lados de la zona andina y provoca un impacto en la variabilidad del clima de los andes tropicales. Cuanto menor es la humedad relativa del ambiente, mayor es el riesgo de incendios, es decir la temperatura y la humedad relativa son los parámetros que inciden en su ocurrencia (Pazmiño, 2019)

#### **➤ Topografía**

Posee un alto dominio e influencia en los incendios forestales, se originan en zonas que habitualmente tienen un relieve irregular, además, existen pendientes pronunciadas, que no

solo afectan al fuego, sino que también determinan otros dos elementos como la meteorológica y los combustibles (Pico, 2018). Para Giler (2020) entre los componentes topográficos que inciden en la conducta del fuego resaltan la altitud, orientación, gradiente de pendiente y configuración del terreno.

#### **2.1.4. Transmisión de calor**

Para Cochrane (2010) el fuego que se propaga es un proceso continuo de las tres fases de la combustión, en el que los combustibles se precalientan hasta el punto de ignición, logrando una combustión gaseosa y luego ardiente antes de apagarse finalmente (extinción). Por lo tanto, para que los incendios se propaguen, es necesario transferir cantidades adecuadas de calor a los combustibles cercanos. La transferencia de calor se puede lograr de tres maneras: convección, conducción y radiación.

##### **➤ Convección**

Para el Ministerio de Ambiente de Panamá (2015) la convección es el calor transferido por una columna de partículas de aire caliente que se mueven hacia lo alto en la dirección determinada por el viento. En el medio fluido circulante (gas o líquido), el calor se transfiere por convección. Es así que, en los incendios forestales, la convección se divide en dos tipos: convección natural que es el aire caliente se mueve hacia arriba debido a la diferencia de densidad y la convección forzada que es el movimiento de aire caliente debido a una velocidad impuesta (viento). El efecto combinado de convección forzada y convección natural provoca el fenómeno de la descarga de partículas inflamables a través del aire a cierta distancia de la fuente de producción en los incendios forestales.

##### **➤ Conducción**

La conducción se refiere a la transferencia de calor dentro de un combustible o de un combustible a otro por contacto directo. La madera es originalmente un mal conductor del calor, pero el metal es un buen conductor. Aunque este método de transferencia de calor es importante en las estructuras de los edificios, tiene poca relación con los incendios forestales (Heikkila et al., 2010).

##### **➤ Radiación**

La radiación es la transferencia de calor a través del espacio, en cualquier dirección, a la velocidad de la luz y no necesita el movimiento del aire caliente. La intensidad de la distancia

del objeto a la fuente es el principal medio por el que se precalientan los combustibles que se encuentran delante de un frente de llama. Es decir, el calor irradiado por las llamas precalienta el combustible no quemado hasta su temperatura de ignición y lo hace arder. Un fuego grande (con llamas altas) precalentará y encenderá los combustibles más rápidamente que uno pequeño. Como la radiación provoca el precalentamiento del nuevo combustible, es una causa importante de la propagación de los incendios de superficie. Es importante para el comportamiento del fuego ya que permite la propagación de un incendio de superficie, y puede contribuir a que un incendio salte un cortafuegos (Heikkila et al., 2010).

## **2.2. Combustibles forestales**

El combustible forestal está constituido por materiales leñosos y ligeros, vivos o muertos, son toda la materia vegetal presente en un ecosistema que posee la capacidad de encenderse y arder al ser expuesto a una fuente de calor, estos combustibles son el resultado del proceso natural de caída de hojas, acículas, ramas y humus; aunque también se debe a las actividades del hombre, por ejemplo, en los aprovechamientos forestales (Brown et al., 1982).

### **2.2.1. Características de los combustibles**

Según Cochrane (2010), los combustibles son cualquier sustancia combustible y puede llegar a arder con los incendios. La composición del combustible, la carga y disposición del mismo, la humedad del combustible y la continuidad del mismo son todos determinantes clave del comportamiento de los incendios forestales, la capacidad de propagación y el consumo total de combustible se detallan a continuación.

#### **➤ Composición del combustible**

La composición relativa de un combustible determina su contenido energético. La madera es la principal forma de biomasa en los ecosistemas forestales y está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La lignina proporciona una mayor rigidez en las plantas leñosas. Los pastos y otros combustibles de ecosistemas no leñosos están dominados por la celulosa y la hemicelulosa, con un componente de lignina más pequeño. La lignina es más energética para la combustión que la celulosa o la hemicelulosa y también es resistente a la descomposición por microorganismos (Cochrane, 2010).

#### **➤ Compactación o consistencia del combustible**

La compactación calcula el espesor de aire al interior del combustible de procedencia forestal, a poco o mínimo volumen de compactación y, a frecuencia, más dificultad para la expansión.

De lado inverso las compactaciones bajas de aire se perciben en el combustible y suministra facilidad a la combustión (Carvallo, 2011).

➤ **Carga y composición del combustible**

El incremento de la carga o cantidad de combustible demuestra si el fuego va o no a trascender el monto de calor liberado por las llamas durante el incendio. La fuerza de las llamas es claramente proporcional al monto del combustible que se incinera además de ser un factor primordial en la propagación de un flagelo (Morfin et al., 2012).

➤ **Humedad del combustible**

Este componente tiene incidencia en la posibilidad de que se inicie un incendio y en el comportamiento que este tomará si ocurre. Antes que arda el combustible se evapora el exceso de humedad que contiene por lo que, su humedad influye mucho en la cantidad de calor requerida para encenderlo (MAEP, 2015). El contenido de humedad del combustible muerto fino generalmente es considerado un valor único, por lo que no se considera la variación de contenido de humedad dentro de la estructura del combustible. Mientras que, para el combustible grueso, si puede ser necesario considerar la variación del contenido de humedad dentro del combustible. Es importante distinguir el contenido de humedad del combustible a ras de la superficie, el perfil y las capas dentro del lecho del estrato vegetal, y la humedad de los combustibles suspendidos sobre el suelo (Gould et al., 2011)

➤ **Intercambio de humedad**

La velocidad a la que los combustibles muertos intercambian humedad con el medio ambiente circundante está relacionada con su superficie, que generalmente es una función de su diámetro. Los combustibles de mayor diámetro responden más lentamente que los combustibles más finos a los cambios en las condiciones de humedad del ambiente. Dado que las condiciones ambientales cambian constantemente, en la práctica de campo el desfase es el mismo tanto si los combustibles ganan (adsorción) como si pierden (desorción) humedad. Aunque los desfases reales de los combustibles varían continuamente en función de los distintos tamaños de diámetro, se han clasificado típicamente en clases de desfase estándar (Cochrane, 2010).

➤ **Continuidad del combustible**

La distribución horizontal y vertical de los diferentes tipos de combustibles controla la dirección y velocidad de propagación. La continuidad horizontal es la distribución uniforme o desigual del combustible, afecta la propagación de la ignición, por otro lado, la continuidad

vertical del combustible se presenta por la pericia de combustibles de diferentes alturas, la vegetación adopta una forma de escalones, lo que a su vez hace que la llama se propague con dirección desde la base hasta las copas de los distintos árboles (Morfi et al., 2012).

### 2.2.2. Clasificación de combustibles forestales

Los combustibles forestales se clasifican bajo diferentes criterios de acuerdo a su peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación, sin embargo, la clasificación más usada es de acuerdo a 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 et al., 1982). (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de combustibles forestales por su tiempo de retardo

<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Tiempo de retardo (horas)</b>	<b>Tamaño y peso</b>
< 0,6	1	Finos/Livianos
0,61 – 2,5	10	Pequeños/Ligeros
2,51 – 7,5	100	Regulares/ Mediano
> 7,51	1000	Grandes/Pesados

Fuente: (Brown et al., 1982)

### 2.2.3. Combustibles forestales por su tamaño

Por el tamaño los combustibles forestales se pueden clasificar en:

- Combustibles finos o ligeros (diámetro menor de 5 mm) constituidos por hojas, acículas, pasto, ramillas, cortezas desprendidas, matorral poco denso.
- Combustibles medios (diámetro entre 5 mm y 75 mm) matorrales medios y pesados, repoblaciones, arbustos, ramas.
- Combustibles gruesos o pesados (diámetro mayor de 75 mm) formados por troncos, ramas, raíces.

#### **2.2.4. Combustibles forestales por su tiempo de retardo**

Es 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 et al., 1982). Entre más grande sea el combustible perderá o ganará humedad más lentamente, tendrá un mayor tiempo de retardo. De esta forma el diámetro establecerá el tiempo de retardo de un combustible. Los combustibles de una hora también llamados combustibles finos como hojas y ramillas se encienden fácilmente y son consumidos rápidamente por el fuego cuando se encuentran secos. Los combustibles de diez horas conocidos como combustibles ligeros están constituidos por ramillas. Los combustibles de cien horas o combustibles medios están definidos por ramas. En cuanto a los combustibles de mil horas se les denomina combustibles pesados, como ramas gruesas y troncos (Díaz et al., 2012)

#### **2.2.5. Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares**

La evaluación de los combustibles forestales es in situ mediante líneas de muestreo, la más difundida para cuantificar combustibles leñosos es la técnica de intersecciones planares descrita por Brown (1974) y adaptada por Sánchez y Zerecero (1983) quienes mencionan que este método puede ser aplicado para cualquier tipo de vegetación. Esta técnica consiste en el conteo del número de intersecciones de las piezas leñosas hojas, ramas, ramitas, troncos en planos de muestreo vertical y que en el terreno se marca con líneas de muestreo divididas en 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, además presenta la metodología para estimar la cantidad de hojarasca en el piso forestal.

#### **2.2.6. Biomasa forestal**

La biomasa es la cantidad de materia orgánica seca que se encuentra en cierto momento, donde se distingue: biomasa aérea, biomasa subterránea, detritos gruesos, detritos finos y el suelo. El 90 % de la biomasa se encuentra acumulada en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Perez y Díaz, 2010). La biomasa forestal se define como el material lignocelulósico generado por procesos metabólicos de las plantas arbóreas (Simangunsong et al., 2017). Una variedad de factores ambientales y bióticos, nutrientes, la disponibilidad de agua, la estacionalidad y la perturbación determinan el crecimiento de la vegetación y afectan la acumulación de biomasa vegetal. Desde la temperatura hasta la

composición de especies, el almacenamiento de biomasa aérea en los ecosistemas forestales está influenciado por una serie de variables y generalmente presenta una alta variabilidad espacial (Rosenfield y Souza, 2014).

## **2.3. Investigaciones realizadas sobre combustibles forestales**

### **2.3.1. Investigaciones a nivel internacional**

Díaz et al. (2012) caracterizó los combustibles forestales por tiempo de retardo en cinco sitios de una plantación forestal, indican que la carga total de combustibles forestales para la plantación fue de 53,65 Mg ha<sup>-1</sup>, los combustibles leñosos representan el 70 % de esta acumulación con 39,62 Mg ha<sup>-1</sup>, la capa orgánica contribuyó con 16,81 Mg ha<sup>-1</sup> que representaron el 30 % de la carga total de los combustibles. Estos resultados indican que debido a la ausencia de manejo se encuentra una gran acumulación de combustibles forestales lo que aumenta la probabilidad de incendios y recomiendan monitorear el tiempo de acumulación de combustibles, para establecer un ciclo de control de combustibles controladas y de esta forma al mínimo la acumulación de combustibles forestales.

Caballero et al. (2018) estudiaron los combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado, indican que en el estrato de baja densidad se encontró que los combustibles muertos leñosos caídos aportaron mayor cantidad a la carga total con 45,54 Mg ha<sup>-1</sup> y los combustibles vivos 2,43 Mg ha<sup>-1</sup>; para las unidades de alta densidad se encontró 41,89 Mg ha<sup>-1</sup> de combustibles muertos leñosos caídos, siendo el que más contribuye a la carga total y los combustibles vivos con 0,20 Mg ha<sup>-1</sup>. En la zona con mayor densidad se presentó mayor cantidad de hojarasca con 4,7 Mg ha<sup>-1</sup>. La carga promedio total para las unidades con baja y alta densidad fue 50,51 Mg ha<sup>-1</sup> y 46,79 Mg ha<sup>-1</sup>, donde ambos estratos presentan un alto grado de susceptibilidad a incendios por la gran acumulación de combustibles, por lo tanto, se debe de implementar técnicas y herramientas para su reducción.

Castañeda et al. (2015) evaluaron los combustibles en bosque de *Pinus hartwegii*, señalan que existen diferencias entre las tres categorías relativas a densidad arbórea (ind ha<sup>-1</sup>) área basal (m<sup>2</sup>) y cantidad de biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>) así como de la estructura vertical de los bosques. Se presenta mayor cantidad de combustibles en los bosques fragmentados con 33,81 Mg ha<sup>-1</sup>, especialmente de clases diamétricas grandes (de 2,5 cm a 7,5 cm, así como  $\geq 7,5$  cm de diámetro) donde el fuego reside más tiempo en momentos de una conflagración. Las actividades originadas por el ser humano en estas áreas desencadenaron esta situación que se presenta como un riesgo que debe ser atendido en la zona brindando elementos útiles para

declarar áreas vulnerables a incendios en el marco de un Programa de Manejo Integral del Fuego.

### **2.3.2. Investigaciones a nivel del Ecuador**

Las investigaciones sobre combustibles forestales son escasas, existe evidencia de información documentada de la Universidad Estatal del Sur de Manabí con investigaciones sobre el comportamiento de fuego. Limongi (2020) en su estudio denominado “Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus sp.* en Santa Ana, Manabí, Ecuador” donde obtuvieron valores medios de cantidad de material combustible, profundidad de quema, altura de las llamas, velocidad de propagación del fuego e intensidad lineal de 2,86 kg.m<sup>-2</sup>; 7,63 cm; 0,67 m; 0,0069 m.s<sup>-1</sup> y 74,70 kcal.m<sup>-1</sup>. s<sup>-1</sup>, respectivamente. Y la investigación de Pico (2018) donde determinó el comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de *Tectona grandis* Linn F. en Jipijapa, Manabí y obtuvo valores medios de cantidad de material combustible, profundidad de quema, altura de las llamas, velocidad de propagación del fuego e intensidad lineal de 0,46 kg.m<sup>-2</sup> ; 0,58 cm; 0,57 m; 0,0101 m.s<sup>-1</sup> y 16,49 kcal.m<sup>-1</sup> .s<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos estudios no son sobre combustibles forestales como tal, pero son parte de estudios del fuego y de las variables que intervienen en la ocurrencia de un incendio forestal tales como los combustibles. Además, sirven como base y punto de partida para futuros estudios relacionados al fuego.

Tanto la academia como las instituciones público-privadas han realizado escasa investigación sobre este tema hasta la actualidad, de tal manera que aumenta el riesgo y la vulnerabilidad entorno al fuego y el impacto ecológico en los ecosistemas y la biodiversidad del Ecuador como en la sociedad, considerando que son de fundamental importancia para la correcta toma de decisiones frente a incendios, considerando que este componente es el único que se puede manipular al momento de suscitarse un incendio forestal.

### **2.3.3. Incendios forestales en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC)**

El parque a pesar de ser un área utilizada para realizar prácticas de campo estudiantiles, actividades de educación ambiental y de conservación de la biodiversidad, no ha dejado de ser afectado por los incendios, especialmente en matorral y páramo antrópico. En los últimos 10 años se han registrado incendios que han afectado a zonas de alta importancia. En el año 2006 se quemó el área de matorral bajo y parte del páramo antrópico, afectando una superficie de 2 ha, en el año 2007 en la zona del páramo se quemaron alrededor de 10 ha de pino, el año 2010

se registra una superficie afectada por incendios de 7 ha, afectando los ecosistemas del páramo antrópico y matorral alto de las 99 hectáreas de extensión del parque (Aguirre y Yaguana, 2014), siete años después el PUFVC es afectado por un incendio en la parte alta proveniente desde la microcuenca oriental colindante producto de los fuertes vientos que azotaban en esa época y el último registrado en noviembre del año 2020 con una afectación de aproximadamente una hectárea.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de Estudio

La investigación se realizó en el parque universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), situado en el cantón Loja, parroquia San Sebastián, de propiedad de la Universidad Nacional de Loja. Está 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. Posee una diversidad de ecosistemas, diferenciables por su composición, estructura y función entre ellos: bosque natural, matorral alto y bajo, páramo antrópico, pastizales, plantaciones forestales. 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 (Aguirre y Yaguana, 2014). En el bosque nativo es donde se determinó la cantidad de combustibles forestales existentes (Figura 1).

El PUFVC posee uno de los pocos remanentes boscosos de bosque andino dentro de la hoya de Loja. Posee una temperatura media anual de 16,6 °C, precipitación anual de 955 mm/año, clima templado lluvioso-mesotérmico, suelo de materia parental de rocas metamórficas con textura franco, franco arenoso y franco arcilloso y una topografía accidentada con pendientes medias que fluctúan entre 40 y 90 %. Se caracteriza por ser el hábitat de 100 especies de aves, 300 de plantas y 10 mamíferos, convirtiéndolo en un importante escenario para conocer y disfrutar los recursos biológicos de la región sur del Ecuador. Además, dentro del parque nacen dos nanocuenas: Los Nogales y León Huayco que abastecen de agua para el jardín botánico “Reinaldo Espinosa”. También es un espacio importante para que los estudiantes de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables complementen su formación profesional y estudiantes de otras carreras de la Universidad Nacional de Loja hagan educación e interpretación ambiental (Aguirre y Yaguana, 2014).

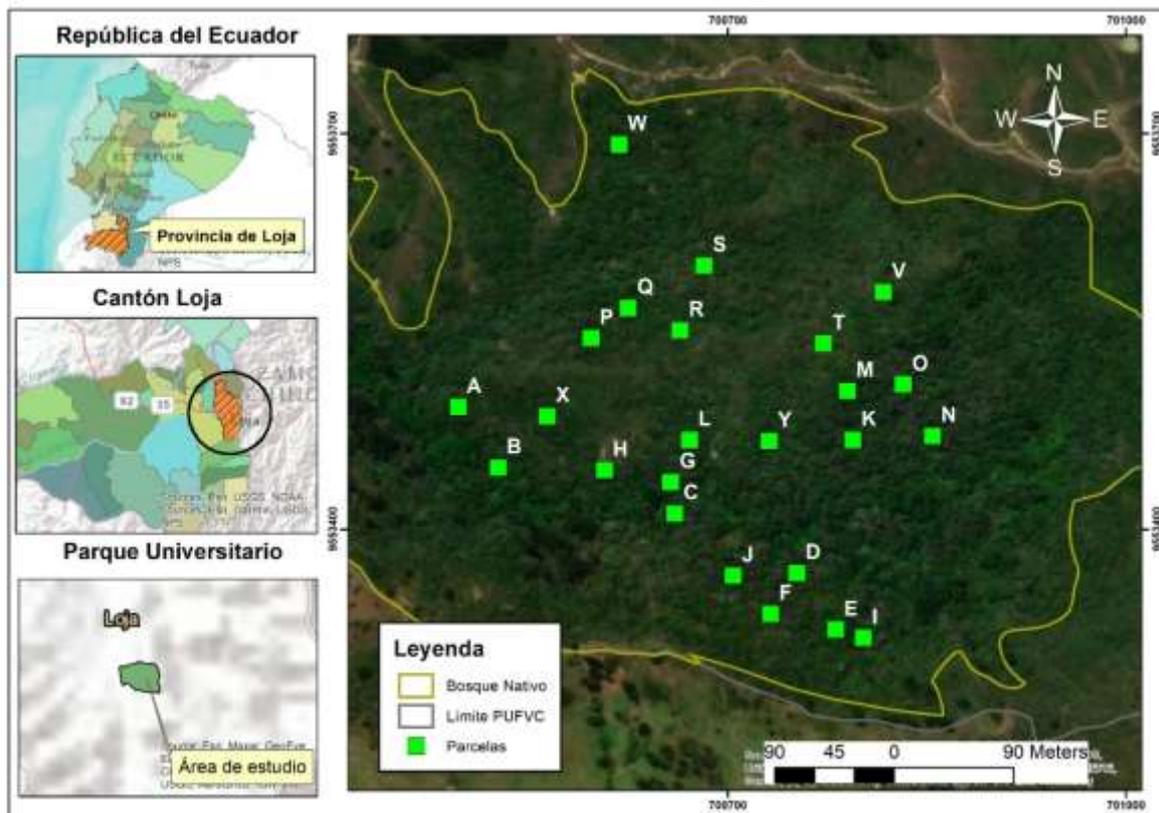


Figura 1. Mapa de ubicación del parque universitario “Francisco Vivar Castro” y el bosque nativo donde se realizó el estudio.

### 3.2. Metodología para cuantificar la cantidad de combustibles forestales muertos en el suelo presentes en el bosque nativo

Se empleó el método de líneas de intersección o intersecciones planares descrita por Brown (1974); Brown et al. (1982), Díaz et al. (2012) adaptada a las condiciones locales y la que se describe a continuación:

#### ➤ Establecimiento de las líneas de intersección

Se instalaron 24 parcelas temporales de 20 m x 20 m (400 m<sup>2</sup>) divididas en dos fajas de 10 x 20 m. En la mitad de cada faja se instaló una línea de intersección, es decir a los cinco y 15 m de la parcela en dirección al norte. Para su instalación se utilizó estacas, brújulas y una cuerda que fue colocada sobre o cercana al suelo, con la finalidad de identificar los combustibles que intersecan con la cuerda o línea (Figura 2).

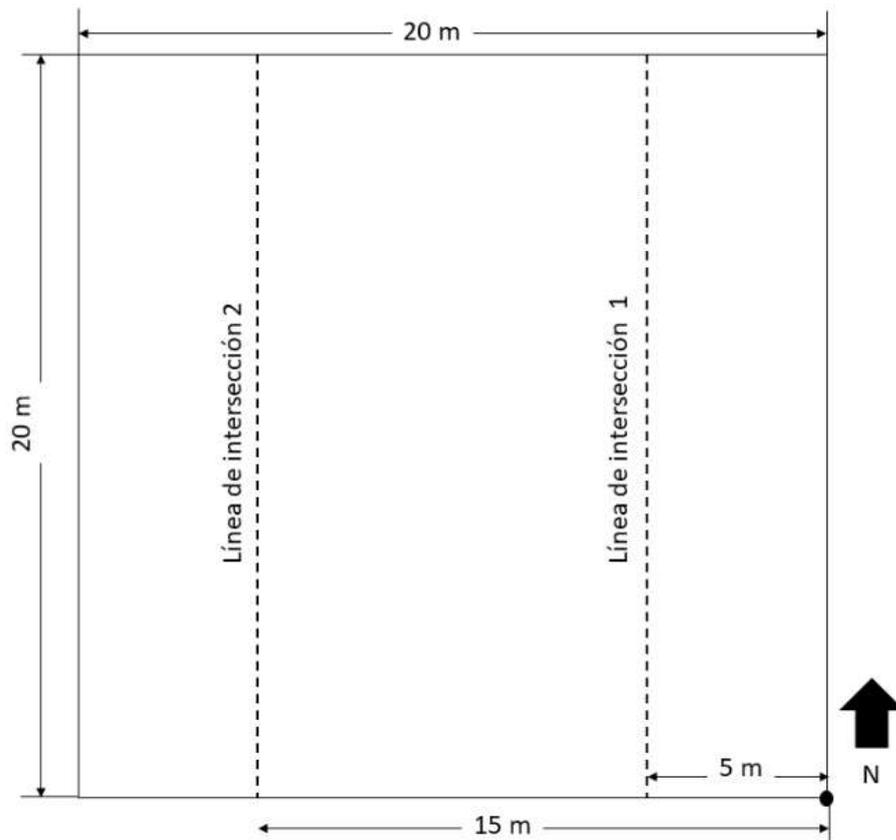


Figura 2. Esquema de líneas de intersección para medición de combustibles forestales muertos.

➤ **Registro de información**

Se levantó información sobre combustibles vegetales muertos presentes en el suelo que intersecan con las líneas de intersección, los mismos que se han separado de la fuente original de crecimiento. Estos combustibles forestales fueron troncos, ramas, ramitas, hojas.

En cada línea de intersección se registraron las frecuencias de los combustibles forestales por su tamaño, es decir livianos, ligeros, medianos y pesados, en esta última categoría se consideró también el estado del material (firme o podrido) y se midió el diámetro (Díaz et al., 2012). En la Tabla 2 se presentan los diferentes tipos de combustibles forestales medidos de acuerdo al tiempo de retardo, tamaño, peso y la distancia de medición en las líneas de intersección.

Tabla 2. Tipo de combustible forestal muerto y distancia de medición en las líneas de intersección

<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Tiempo de retardo (horas)</b>	<b>Tamaño y peso</b>	<b>Distancia de medición (m)</b>
< 0,6	1	Finos/Livianos	0 - 2
0,61 – 2,5	10	Pequeños/Ligeros	0 - 4
2,51 – 7,5	100	Regulares/ Medianos	0 – 6
> 7,51	1000	Grandes/Pesados	0 – 20

Fuente: Brown et al. (1982), Díaz et al. (2012)

Adicionalmente, como combustible forestal muerto también se consideró la hojarasca presente en el suelo, para su medición se utilizaron cuatro cuadrantes de 50 cm x 50 cm ( $0,25 \text{ m}^2$ ), estos fueron ubicados cerca de las líneas de intersección, evitando su encuentro. También se midió la profundidad de la hojarasca, se procedió a recolectar en bolsas plásticas, se tomó su peso en el sitio y después su peso seco en laboratorio, lo que permitió el cálculo de la cantidad de materia seca por hectárea (Díaz et al., 2012). En la Figura 3 se presenta los puntos de medición de los tipos de combustibles forestales muertos evaluados en la presente investigación.

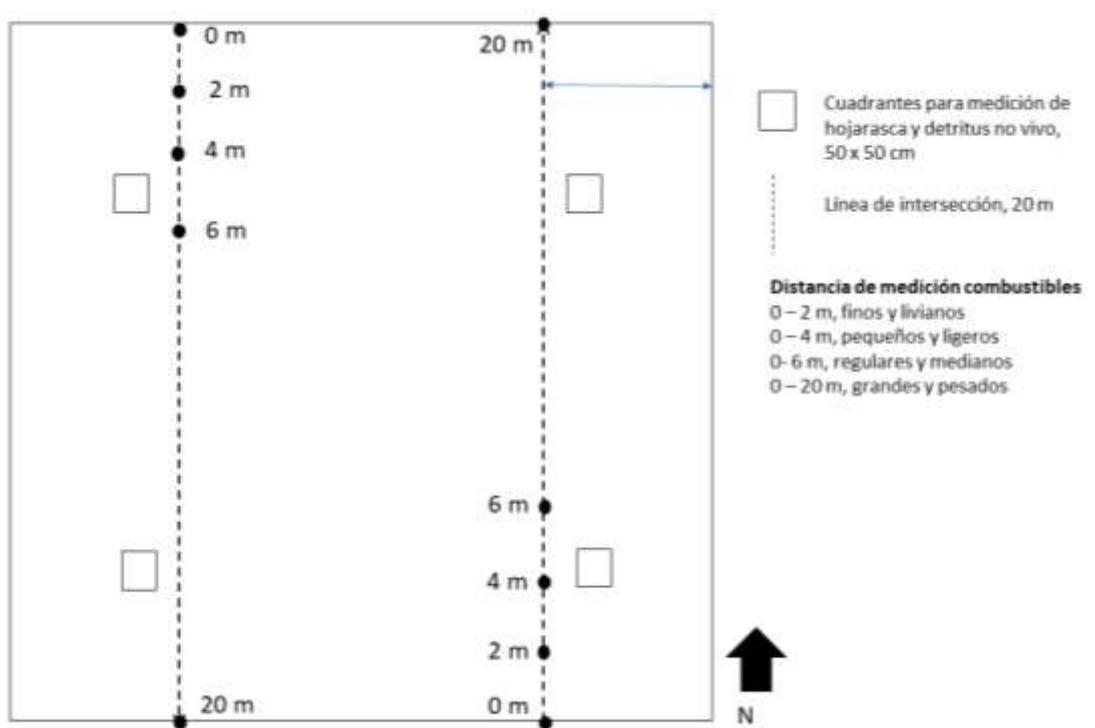


Figura 3. Puntos de medición de los tipos de combustibles forestales muertos

➤ **Cuantificación de la cantidad de combustibles forestales muertos**

El cálculo de los pesos de material combustible muerto se obtuvo mediante las fórmulas sugeridas por Díaz et al. (2012)(Díaz et al., 2012) que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Fórmulas para la obtención de la carga o contenido del combustible forestal muerto en función de cada clase

<b>Tamaño de clase (cm)</b>	<b>Fórmula</b>
< 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 (ton/ha)

*f*: es la frecuencia o número de intercepciones

*c*: factor de corrección por pendiente

*d*<sup>2</sup>: suma de cuadrados de los diámetros de ramas y trozas

NI: es la longitud total de la línea de muestreo o suma de longitudes de las líneas expresada en pies lineales.

El factor de corrección de pendiente se estimó con la ecuación propuesta por Brown (1974):

Ecuación 1.

Factor corrección

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

Toda la información fue registrada en una hoja de campo la cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Hoja de campo utilizada para el levantamiento de información de material combustible muerto

<b>CONDICIONES GENERALES</b>									
Fecha:			Hora:						
Parcela		Subparcela:			Ecosistema:				
Nro.									
Coordenadas			Elevación			Pendiente			
(UTM)			(m s.n.m.)			parcela (%)			
<b>COMBUSTIBLE MUERTO</b>									
		<b>Nro. Intersecciones</b>					<b>Profundidad</b>		<b>Peso hojarasca</b>
<b>Código</b>	<b>Pendiente</b>	<b>0-0,6</b>	<b>0,61-2,5</b>	<b>2,51-7,6</b>	<b>&gt;7,61</b>	<b>&gt;7,61</b>	<b>hojarasca</b>	<b>asca</b>	
(BM-Px-Lx)		cm	cm	cm	Firme	Podrido	a (cm)		

### 3.3. Metodología para estimar la cantidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo

Se realizó en las 24 parcelas temporales de 20 m x 20 m, donde se levantó información sobre árboles con DAP  $\geq$  a 5 cm y se midieron variables dasométricas diámetros y alturas.

El cálculo de la carga o cantidad de combustibles forestales vivos (Mg ha<sup>-1</sup>) fue estimado de acuerdo al valor de la biomasa aérea de las especies vegetales. Para esto se aplicó la ecuación alométrica propuesta por Chave et al. (2005) para bosques tropicales, que estima la biomasa aérea del árbol por encima del suelo.

Ecuación 2.

$$BA = p * \exp(-1.449 + 2.148 * \ln(dap) + 0.207 * \ln(dap^2) - 0.0281 * \ln(dap^3))$$

(Chave et al. 2005)

Dónde:

BA= Biomasa aérea kg/cm<sup>3</sup>

p= densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

dap= diámetro a la altura de pecho (cm)

Los diámetros se obtuvieron del inventario y la densidad de cada especie vegetal de la plataforma de atributos funcionales del árbol o base de datos ecológica Wood Density (Harja et al., 2020)

Para conocer la carga o contenido total del combustible vivo por árbol se estimó la biomasa de la raíz con el factor 0,30 (Mac Dicken., 1994).

Ecuación 3.

$$Biomasa\ raíz = Biomasa\ del\ árbol * 0,3$$

Al final la biomasa total viva por individuos, será igual a lo que se expresa en la ecuación 4.

Ecuación 4:

$$Biomasa\ total\ del\ árbol = Biomasa\ aérea + biomasa\ de\ raíz$$

Toda la información se registró en una hoja de campo la cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Hoja de campo para el levantamiento de información de la biomasa de árboles mayores a 5 centímetros de diámetro

<b>CONDICIONES GENERALES</b>				
Fecha:		Parcela Nro.		
Hora:		Ecosistema:		
Coordenadas (UTM)		Elevación (m s.n.m.)		Pendiente parcela (%)
<b>COMBUSTIBLE VIVO</b>				
Nro.	Nombre común	Nombre científico	DAP	Altura total

### **3.4. Análisis de información**

El conjunto de datos derivados del inventario de combustibles forestales se almacenó en hojas de cálculo del programa Excel, donde mediante fórmulas se calcularon las cargas o contenidos de combustibles forestales vivos y muertos. El análisis de datos se realizó en el programa InfoStat (Rienzo et al., 2008), se calcularon estadísticas descriptivas como error estándar, desviación estándar, coeficiente de variación, medias; además de gráficos de barras y gráficos de caja “box plot”. Mediante un análisis clúster se determinó similitud de valores de cargas por parcelas y se elaboró dendrogramas para su visualización. En el software ArcGIS se diseñaron mapas con la ubicación de las parcelas en función de los grupos identificados en el análisis clúster. Los valores medios de las cargas de los tipos de combustibles forestales muertos se compararon sus medias entre sí por medio de una prueba no paramétrica Kruskal Wallis, y la prueba de significancia H para conocer el grupo que difiere, con un nivel de significancia 0,05. Para determinar la correlación existente entre la cantidad de combustibles forestales vivos y muertos se realizó pruebas de normalidad y homocedasticidad de varianzas como paso previo a la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson, con un nivel de significancia de 0,05.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Carga total de combustibles forestales muertos presentes en el bosque nativo

El bosque nativo posee una carga total de combustibles muertos de 32,53 Mg ha<sup>-1</sup>. Los combustibles medianos tuvieron la mayor carga con un total de 7,60 Mg ha<sup>-1</sup> y un error estándar de ± 0,83 y la hojarasca la menor carga con una cantidad de 3,55 Mg ha<sup>-1</sup> y un error estándar de ± 0,26. En la Tabla 6 se presentan los valores de las cargas o contenidos totales para los diferentes tipos de combustibles forestales muertos, su representatividad, error estándar, desviación estándar y el coeficiente de variación. Las estadísticas descriptivas se indican en el Anexo 1.

Tabla 6. Carga total de combustibles forestales muertos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”

<b>Tipo de combustibles</b>	<b>CT (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>R (%)</b>	<b>EE (±)</b>	<b>DE (±)</b>	<b>CV</b>
<b>Livianos</b>	5,01	16	0,13	0,63	12,74
<b>Ligeros</b>	4,26	13	0,19	0,94	22,03
<b>Medianos</b>	7,60	24	0,83	4,09	53,83
<b>Pesados firmes</b>	7,17	22	1,34	6,58	91,71
<b>Pesados podridos</b>	4,91	14	1,30	6,40	130,37
<b>Hojarasca</b>	3,55	11	0,26	1,26	35,52
<b>Total</b>	<b>32,53</b>	<b>100</b>	<b>2,60</b>	<b>12,75</b>	<b>39,19</b>

CT: Carga total (Mg ha<sup>-1</sup>); R: Representatividad (%); EE: Error estándar (±); DE: Desviación estándar (±); CV: Coeficiente de variación

Las cargas o contenidos de los tipos de combustibles forestales muertos presentaron diferencias estadísticas significativas (Kruskal Wallis,  $p=0,0002$ ,  $\alpha=0,05$ ). El estadístico de prueba (H) de Kruskal Wallis definió tres grupos significativamente similares, el primero conformado por hojarasca, combustibles pesados podridos y ligeros; el segundo por combustibles ligeros, pesados firmes y combustibles livianos y finalmente el tercer grupo integrado por combustibles pesados firmes, livianos y medianos (Anexo 2). En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de las medias de cada tipo de combustible.

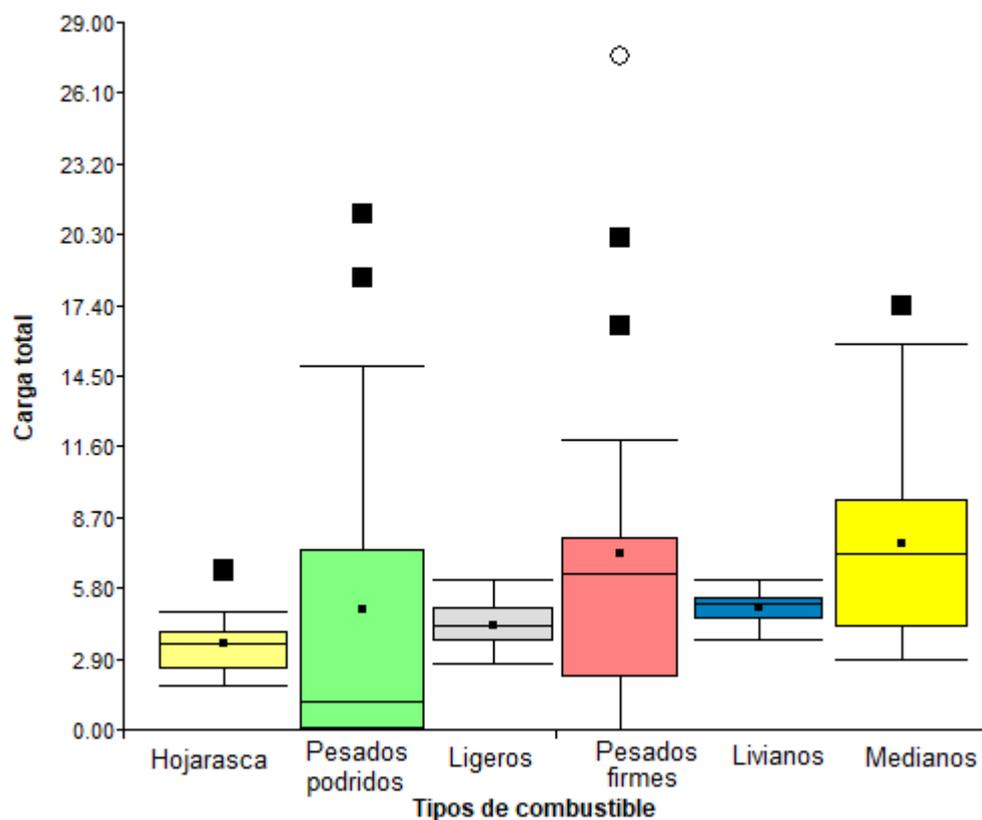


Figura 4. Distribución de la carga total de los combustibles forestales muertos por tipo de combustible presentado en un box plot

#### 4.1.1. Distribución de la carga total de combustibles forestales muertos en el bosque nativo

El análisis de la distribución de la carga o contenido total de combustibles forestales muertos por parcela, a través de un clúster análisis (Figura 5), permitió identificar dos grupos diferentes. El primer grupo formado por ocho parcelas, presentan el valor promedio más alto en la carga o contenido de combustible forestal muerto, con un promedio de  $47,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ , se encuentran distribuidas en la parte media del bosque, donde existen pendientes moderadas a fuertes y áreas en mejor estado de conservación. El segundo grupo, con 16 parcelas, registraron un valor promedio de  $45,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ , ubicadas en su mayoría en las partes altas de la microcuenca con zonas mixtas alteradas, presencia de especies secundarias como *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon y *Chusquea scandens* Kunth que dominaban la zona y pendientes fuertes a muy fuertes. Los valores totales de la carga de combustible por tipo y parcela se presentan en el Anexo 3 y 4.

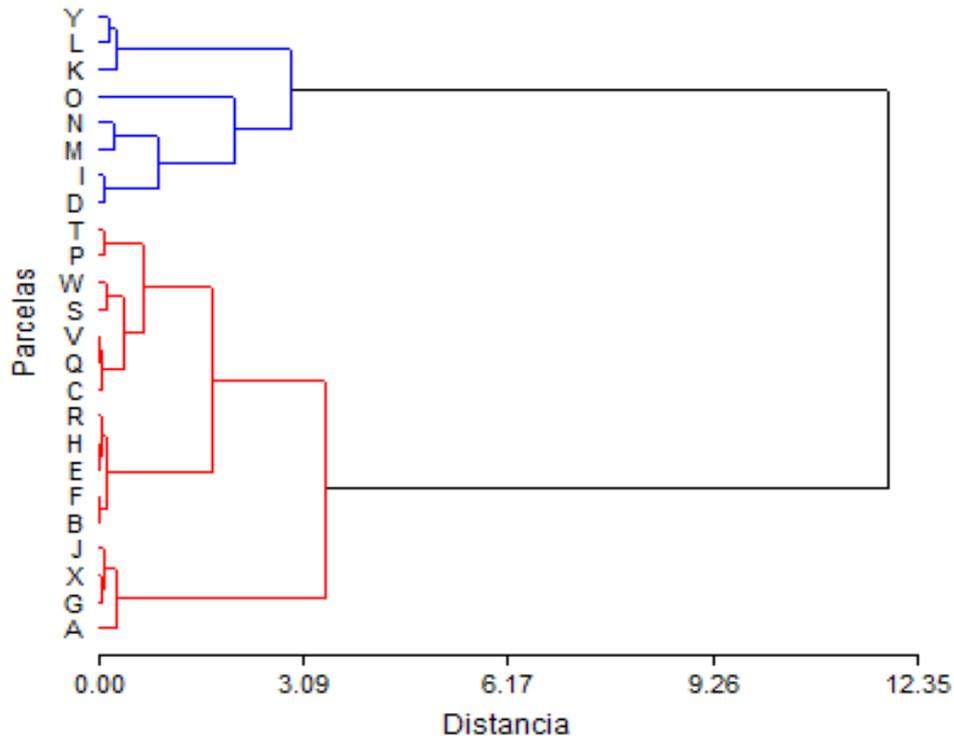


Figura 5. Dendrograma de la carga total de combustibles forestales muertos por parcela

En la Figura 6 se observa la distribución de las 24 parcelas en función de los dos grupos identificados con el análisis clúster

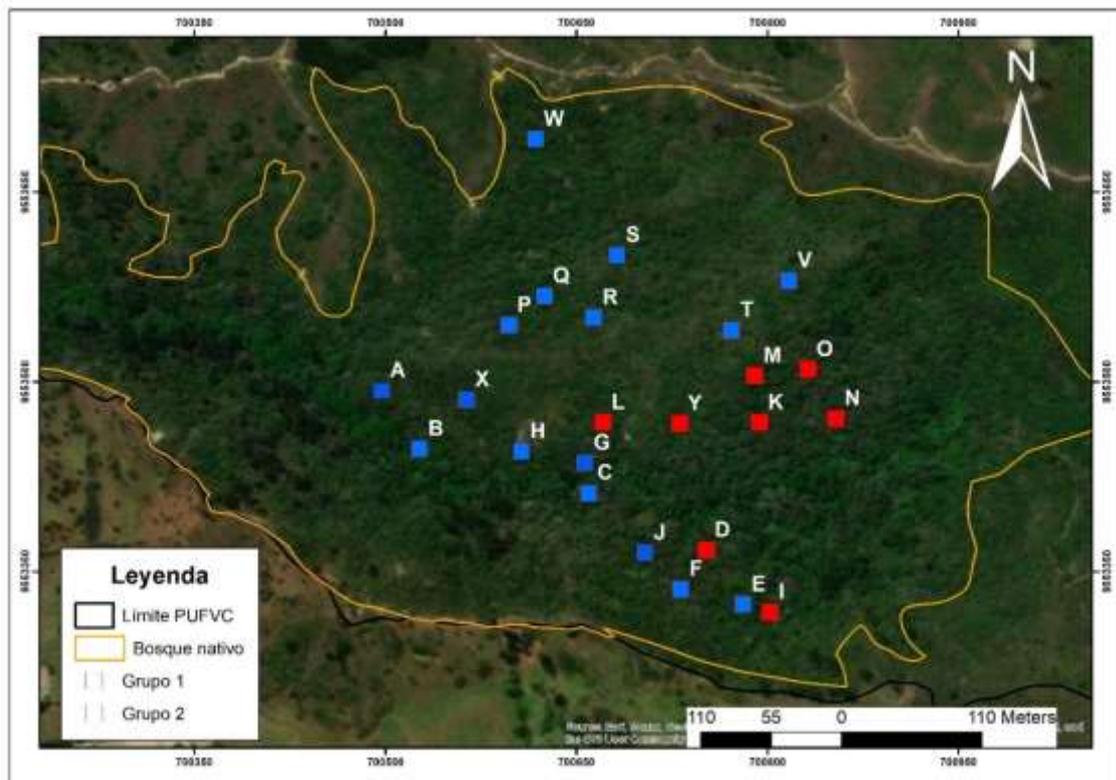


Figura 6. Ubicación de la distribución de las parcelas en el bosque nativo

## 4.2. Cantidad de combustibles forestales vivos presentes en el bosque nativo

En el bosque nativo se registraron 900 individuos en 46 especies, 36 géneros y 27 familias. La carga o cantidad de combustible forestal vivo fue de 116,52 Mg ha<sup>-1</sup> donde la biomasa aérea posee un total de 89,63 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,43 y la biomasa de la raíz 26,89 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,13 (Tabla 7). El análisis estadístico descriptivo del combustible vivo aéreo y raíz se presenta en el Anexo 4.

Tabla 7. Carga o cantidad de combustible forestal vivo presente en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”

Cantidad de Combustible forestal vivo en el bosque nativo					
Estrato	(Mg ha <sup>-1</sup> )	R	EE	DE	CV
arbóreo		(%)	(±)	(±)	
Aéreo	89,63	67	0,43	2,10	56,30
Raíz	26,89	20	0,13	0,63	56,30

Mg: Megagramos; ha: hectáreas; Mg ha<sup>-1</sup>: Megagramos/hectárea; R: Representatividad; EE: Error estándar; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

### 4.2.1. Cantidad de combustibles forestales vivos por familia

Las familias Betulaceae, Araliaceae, Rosaceae poseen la mayor cantidad de combustible forestal vivo en el bosque nativo del PUFVC con valores de 67,50 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,05; 10,81 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,05; 6,64 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,02 respectivamente, mientras que las familias Ericaceae, Cunoniaceae, Actinidiaceae, Euphorbiaceae y Anacardiaceae poseen valores menores a 0,1 Mg ha<sup>-1</sup>. En la Figura 7 se presentan las 10 familias con los valores más altos de carga o cantidad de combustibles forestales vivos. Los valores totales de todas las familias se encuentran en el Anexo 5.

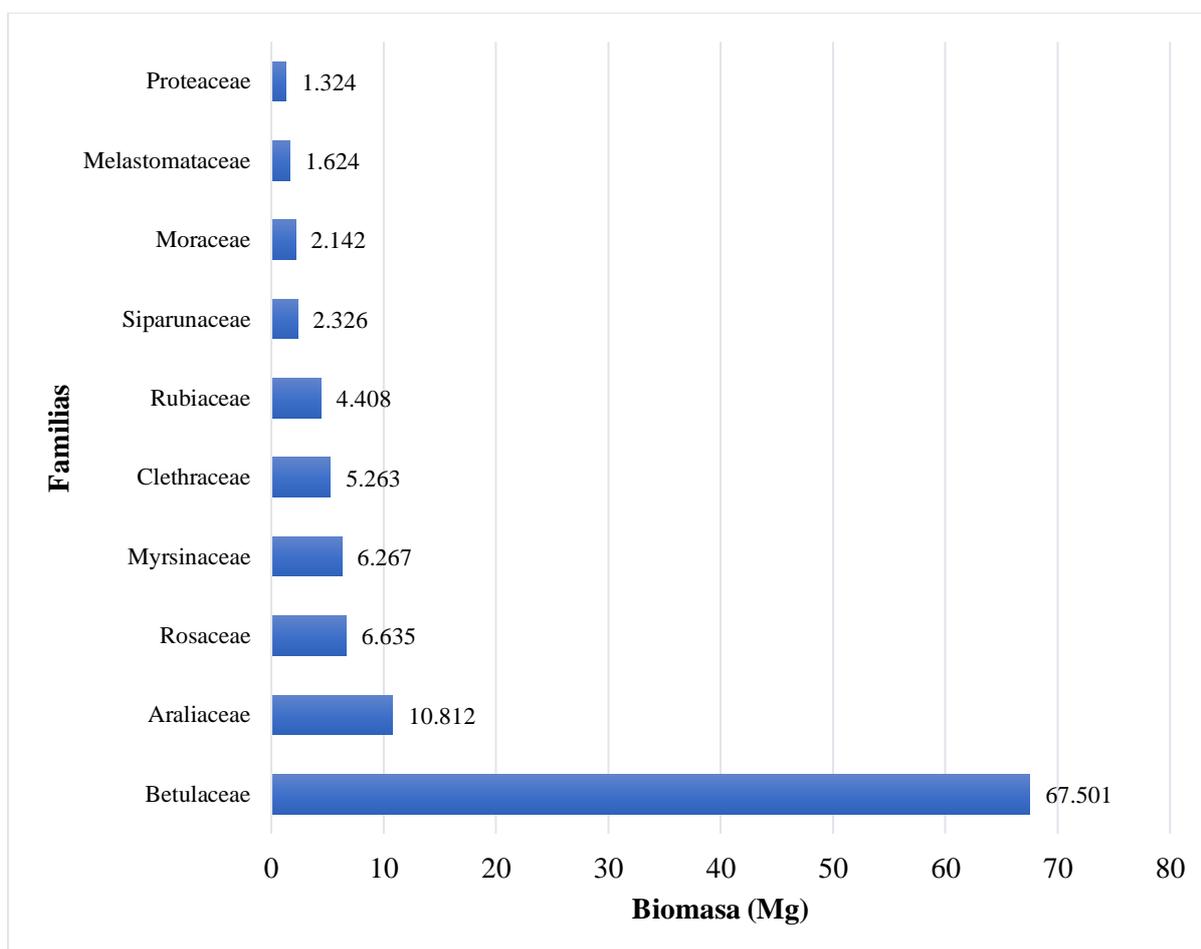


Figura 7. Cantidad de combustibles forestales vivos por familia

En la Tabla 8 se presenta estadísticos descriptivos para la cantidad de combustibles forestales vivos de las 10 familias más representativas del bosque. Los valores totales se muestran en el Anexo 6.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de la carga o cantidad de combustibles forestales vivos de las 10 familias más representativas del bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”

<b>Cantidad de combustible forestal vivo en el bosque nativo</b>					
<b>Familias</b>	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>R</b>	<b>EE</b>	<b>DE</b>	<b>CV</b>
		<b>(%)</b>	<b>(±)</b>	<b>(±)</b>	
<b>Betulaceae</b>	67,50	58	0,05	0,58	117,68
<b>Araliaceae</b>	10,81	9	0,05	0,37	201,81
<b>Rosaceae</b>	6,64	6	0,02	0,17	146,89
<b>Myrsinaceae</b>	6,27	5	0,01	0,09	141,43

<b>Clethraceae</b>	5,26	5	0,02	0,13	120,46
<b>Rubiaceae</b>	4,41	4	0,003	0,04	122,54
<b>Siparunaceae</b>	2,33	2	0,01	0,07	80,84
<b>Moraceae</b>	2.14	2	0,02	0,08	112,58
<b>Melastomataceae</b>	1,62	1	0,04	0,17	179,18
<b>Proteaceae</b>	1,32	1	0,03	0,11	93,42

**Mg:** Megagramos; **ha:** hectáreas; **Mg ha<sup>-1</sup>:** Megagramos/hectárea; **R:** Representatividad; **EE:** Error estándar; **DE:** Desviación estándar; **CV:** Coeficiente de variación

#### 4.2.2. Cantidad de combustibles forestales vivos por especie

Las especies con mayor cantidad de combustible forestal vivo son: *Alnus acuminata* Kunth (67,50 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,05) y *Oreopanax rosei* Harms (10,52 Mg ha<sup>-1</sup> ± 0,05) que en conjunto representan el 67 % del total de la cantidad de combustible forestal vivo, principalmente por los DAP significativamente altos y mayor número de individuos por parcela; mientras que, las especies *Acalypha diversifolia* Jacq., *Mauria heterophylla* Kunth, *Miconia* sp., *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers, y *Oreopanax andreanus* Marchal, son las que poseen menor cantidad de combustible vivo con valores inferiores a 0,02 Mg ha<sup>-1</sup>.

En la Figura 8 se representa la distribución de la cantidad de combustible forestal vivo para las 10 especies con valores más altos y en la Tabla 9 se detalla los estadísticos descriptivos. Los valores totales de la cantidad de combustible forestal vivo y estadísticos descriptivos por especie se representan en el Anexo 7 y Anexo 8 respectivamente.

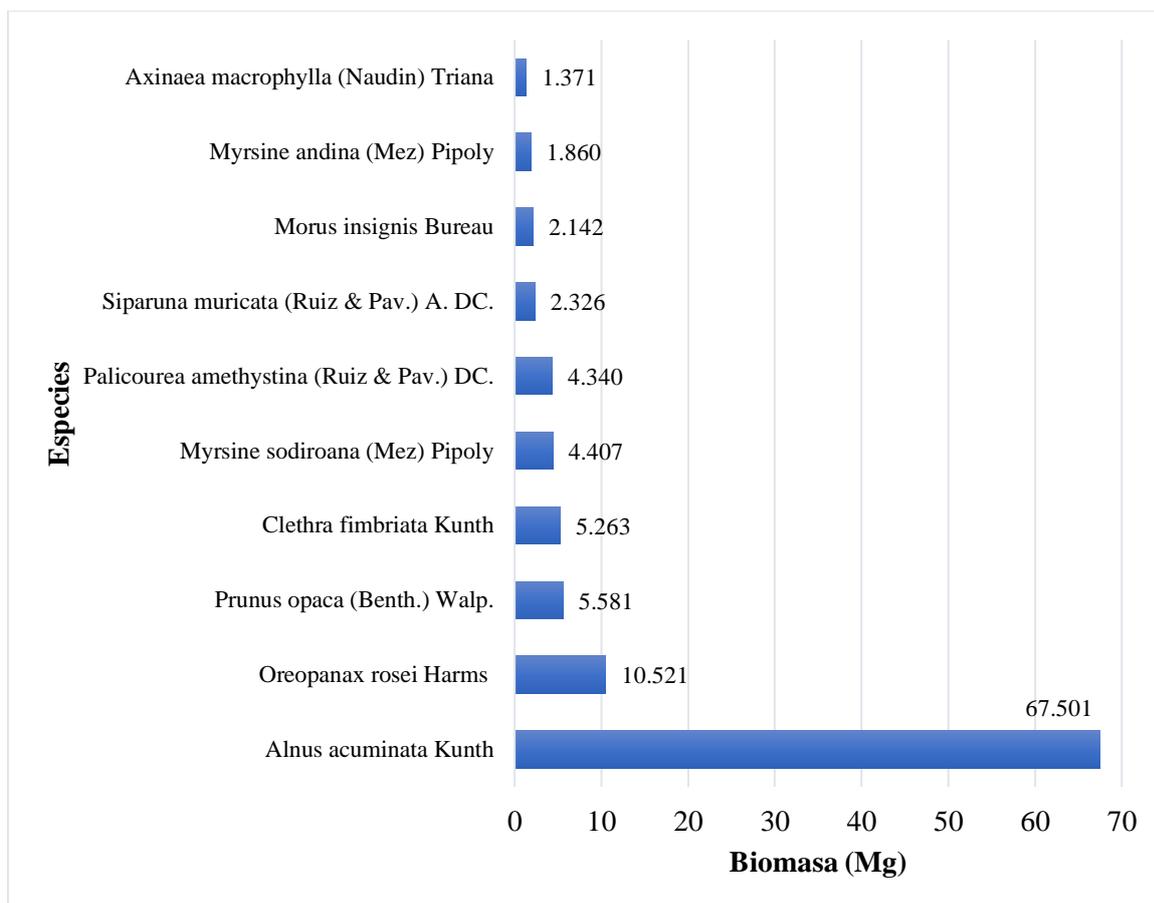


Figura 8. Cantidad de combustibles forestales vivos por especie forestal

Tabla 9. Carga o cantidad de combustible forestal vivo de las 10 especies más representativas del bosque nativo

<b>Cantidad de combustible forestal vivo en el bosque nativo</b>					
<b>Especie</b>	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>R</b>	<b>EE</b>	<b>DE</b>	<b>CV</b>
		<b>(%)</b>	<b>(±)</b>	<b>(±)</b>	
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	67,50	58	0,05	0,58	117,68
<i>Oreopanax rosei</i> Harms	10,52	9	0,05	0,39	195,17
<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp.	5,58	5	0,03	0,18	155,18
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	5,26	5	0,02	0,13	120,46
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	4,41	4	0,01	0,11	155,98
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	4,34	4	0,003	0,04	123,60

<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	2,32	2	0,01	0,07	80,84
<i>Morus insignis</i> Bureau	2,14	2	0,02	0,08	112,58
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	1,86	2	0,01	0,06	92,65
<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	1,37	1	0,11	0,24	122,93

**Mg:** Megagramos; **ha:** hectáreas; **Mg ha<sup>-1</sup>:** Megagramos/hectárea; **R:** Representatividad; **EE:** Error estándar; **DE:** Desviación estándar; **CV:** Coeficiente de variación

#### 4.2.3. Distribución de la carga o cantidad de combustible forestal vivo en el bosque nativo

El análisis de la distribución de la carga o contenido total de los combustibles forestales vivos por parcela a través de un dendrograma (Figura 9), permitió identificar dos grupos diferentes. El primer grupo conformado de 12 parcelas presentó una carga total de 82,74 Mg ha<sup>-1</sup> ubicadas en su mayoría en áreas con mejor estado de conservación del bosque, en la parte media y alta de la microcuenca con pendientes moderadas a fuertes. El segundo grupo conformado de 12 parcelas registró un total de 33,78 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuidas en las partes altas y bajas del parque en zonas mixtas alteradas por la presencia de especies secundarias que dominaban la zona y en pendientes fuertes a muy fuertes. Los valores totales de la carga de combustible vivo por parcela se presentan en el Anexo 9.

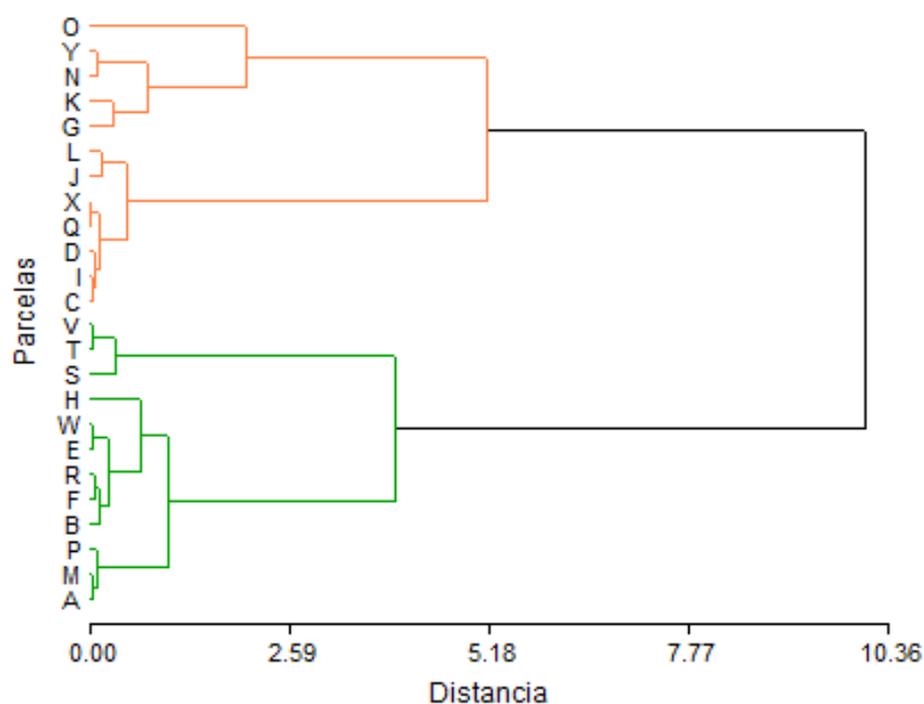


Figura 9. Cluster de la biomasa viva en las 24 parcelas del bosque nativo  
 En la Figura 10 se observa la distribución de las 24 parcelas en función de los dos grupos identificados con el análisis clúster en el bosque nativo de PUFVC

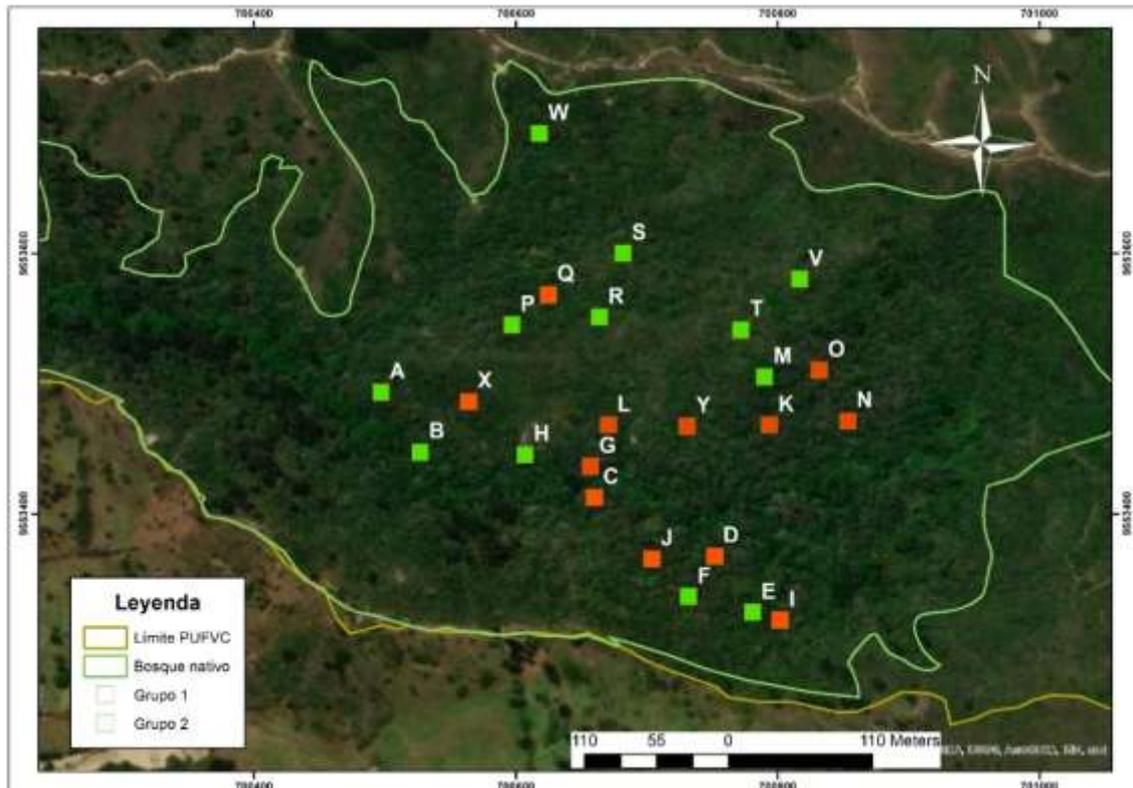


Figura 10. Ubicación de la distribución de las parcelas con biomasa viva en el bosque nativo

### 4.3. Relación entre la carga de combustibles forestales vivos y muertos en el bosque nativo

Los valores de la carga o cantidad de combustibles forestales vivos y muertos por parcela en el bosque nativo presentaron distribuciones normales (Shapiro-Wilk  $p=0,6567$  y  $p=0,0671$ ,  $\alpha=0,05$  respectivamente), por lo que el coeficiente de correlación de Pearson ( $r = 0,57$  y un  $p$  valor significativo de  $0,0039$ ) identificó una asociación positiva moderada entre ambas variables. Los valores y cálculos respectivos se indican en los Anexos 11 y 12.

En la Figura 11 se puede observar la asociación lineal positiva existente entre las cargas totales de los combustibles vivos y muertos en el bosque nativo

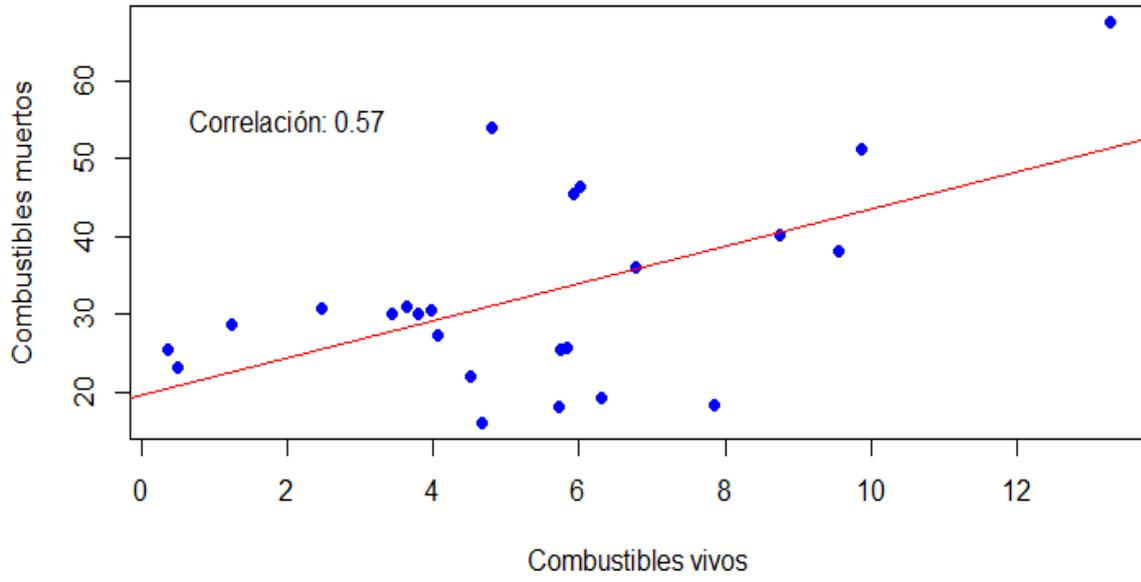


Figura 11. Asociación lineal positiva entre las variables combustibles forestales vivos y muertos

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Cantidad de combustibles forestales muertos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”

La evaluación de los combustibles forestales muertos se realizó mediante líneas de muestreo bajo la técnica de intersecciones planares descrita por Brown (1974) y adaptada por Sánchez y Zerecero (1983) quienes mencionan que este método puede ser aplicado para cualquier tipo de vegetación. Esta técnica consiste en el conteo del número de intersecciones de las piezas leñosas, hojas, ramas, ramitas y troncos en planos de muestreo vertical, además de la estimación de la cantidad de hojarasca en el piso forestal; y la misma ha sido aplicada en plantaciones forestales (Díaz et al., 2012), ecosistemas afectados por incendios (Xelhuantzi et al., 2011), bosque templado (Caballero et al., 2018), bosques de pino, encino y mixto (Castañeda et al., 2015; Díaz, 2015; Naranjo, 2014) entre otros. En esta investigación se aplicaron estos conocimientos a los bosques andinos ecuatorianos, que a pesar de presentar características ambientales diferentes no fue limitante para conocer un contexto general sobre los combustibles forestales existentes (Chávez et al., 2016) y los resultados obtenidos fueron adecuados y comparables con el resto de investigaciones. Esta técnica ha sido aplicada con mucho éxito en países como Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda, México, Argentina (Díaz, 2015) y es evidente que cada ecosistema presenta cantidades diferentes en las cargas de combustibles forestales (Xelhuantzi et al., 2011), por lo que en Ecuador es de fundamental importancia seguir replicando esta metodología en otros sectores ocupados por bosques andinos por la diversidad de condiciones ambientales donde se desarrollan.

Brown y Lugo (1984), determinaron que la carga total de combustibles muertos en ecosistemas tropicales y subtropicales oscila entre 40 Mg ha<sup>-1</sup> a 518 Mg ha<sup>-1</sup> y comparando con lo registrado en la presente investigación se encuentra fuera del rango mencionado con una cantidad de 32,53 Mg ha<sup>-1</sup>. Adicionalmente, Brown y Lugo (1984) sostienen sobre los combustibles forestales muertos que, la presencia de una mayor cantidad de material grueso estaría indicando, entre otras cosas, la permanencia de temperaturas elevadas en el suelo en un posible incendio, cuando la cantidad de biomasa de los combustibles finos, oscila entre 8 a 14 Mg ha<sup>-1</sup> las temperaturas máximas de 500 °C a 600 °C, pueden mantenerse durante 1 o 2 minutos en la superficie del suelo, temperaturas entre 700 °C a 800 °C en los combustibles gruesos, pueden permanecer por mayor tiempo, provocando un incendio subterráneo. En este sentido, el tamaño y naturaleza del combustible muerto juega un papel importante en estas condiciones, en particular en el

parque universitario donde se registran todos los tipos de combustibles forestales muertos y los pesados y medianos presentaron valores más altos de carga en el bosque, 7,60 Mg ha<sup>-1</sup> y 7,17 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

La carga o cantidad de combustibles forestal muerto que se reporta en la presente investigación, 32,53 Mg ha<sup>-1</sup>, no puede ser comparada con otro sitio ocupado por bosque nativo porque en Ecuador aún no se han realizado este tipo de investigaciones. El conocimiento de la cantidad de combustibles muertos en bosques andinos es de vital importancia en el campo del manejo del fuego, según Díaz et al. (2012, pág 247) “los combustibles son una variable de gran importancia que determinan el peligro, establecimiento y desarrollo de los incendios forestales, ya que estos materiales influyen directamente en el comportamiento del fuego”. Si bien las investigaciones a nivel nacional se basan en estadísticas de incendios y su asociación a factores climáticos (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador, 2020; Pazmiño, 2019), cobertura vegetal afectada, comportamiento del fuego en combustibles superficiales en plantaciones (Giler, 2020; Pico, 2018) y sus efectos en la biodiversidad y gremios ecológicos (Troya, 2017), las cargas de combustibles forestales muertos deben complementarse al resto de estudios y ser utilizadas en su conjunto para la toma de decisiones en el manejo del fuego, por lo que la presente investigación constituye uno de los insumos que deben considerarse para el desarrollo de estrategias que permitan conocer sobre el comportamiento o la incidencia de los combustibles muertos en incendios forestales.

Comparando los valores de las cargas de los tipos de combustibles forestales muertos, se puede manifestar que las clases medianos y pesados firmes presentan cargas de combustibles de 7,60 Mg ha<sup>-1</sup> y 7,17 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, siendo estos los valores más altos respecto a las clases livianos (5,01 Mg ha<sup>-1</sup>), ligeros (4,26 Mg ha<sup>-1</sup>), pesados podridos (4,91 Mg ha<sup>-1</sup>) y hojarasca (3,55 Mg ha<sup>-1</sup>). Estas cifras son levemente diferentes a los reportados por Díaz (2015) donde los combustibles ligeros (6,20 Mg ha<sup>-1</sup>), combustibles pesados podridos (5,71 Mg ha<sup>-1</sup>) y medianos (5,32 Mg ha<sup>-1</sup>) presentan la mayor carga con respecto a la hojarasca, combustibles pesados firmes y livianos con 4,46 Mg ha<sup>-1</sup>; 3,28 Mg ha<sup>-1</sup> y 1,24 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, diferencias que pueden ser producto del tipo de ecosistemas siendo en esta investigación un bosque andino a diferencia del estudio de Díaz (2015) que es un bosque de pino y encino. Por otra parte Castañeda et al. (2015) calculan para un bosque denso, semidenso y fragmentado de *Pinus hartwegii*, cantidades de combustibles de 25,13 Mg ha<sup>-1</sup>, 23,95 Mg ha<sup>-1</sup> y 33,81 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente y donde los combustibles pesados firmes poseen la mayor carga total, algo similar a la presente investigación a pesar de la diferencia de ecosistemas, condiciones

geográficas y de topografía existentes. Para un bosque coetáneo de *Pinus* spp. Najera y Hernandez (2015) estimaron de 7,57 a 16,40 Mg ha<sup>-1</sup> de combustibles forestales totales utilizando de 5 a 40 líneas de muestreo por hectárea, sin embargo se observó que el menor error de muestreo y desviación estándar se obtuvo al utilizar el muestreo con 25 líneas por hectárea con los que se estimaron 13,07 Mg ha<sup>-1</sup> de combustibles forestales con una desviación estándar de 5,37 y un error de muestreo del 16,96 %, y al comparar con la presente investigación donde se utilizan 48 líneas de muestreo, dos por parcela, se obtiene un menor error estándar para la estimación de la carga total al considerar únicamente 32 líneas de muestreo.

Para las áreas críticas susceptibles o afectadas por incendios y quemas prescritas, Barrionuevo y Lopez, (2008) identificaron una mayor acumulación de carga en los combustibles muy finos, gruesos y finos. Xelhuanzi et al. (2011) determinaron que las áreas quemadas muestran una disminución considerable en la carga de combustible forestal de casi 10 Mg ha<sup>-1</sup> y con una reducción en las cantidades de los tipos de combustibles y en otras áreas de selva se duplicaron sus valores, con la presencia mayor de combustibles de más 1,000 horas grandes o pesados, producto del incendio. Martinez et al. (2018) determinaron una carga de 40,53 Mg ha<sup>-1</sup> durante la temporada de incendios; para hojarasca correspondió 62,9 % (25,491 Mg ha<sup>-1</sup>) y para leñas 18,8 % (7,603 Mg ha<sup>-1</sup>). La carga acumulada al final de la temporada incrementó 205 % en ramillas de 1 h y 10 h, mientras que la hojarasca lo hizo en 58,7 %. Naranjo, (2014) obtuvo una carga promedio de combustibles leñosos de 14,42 Mg ha<sup>-1</sup> representando el 34 % de la carga total de combustibles, donde conforme el tamaño de los combustibles incrementa, también las diferencias en los sitios, por lo que a mayor tiempo sin incendio, mayor es la diferencia en acumulación de material leñoso de dimensiones mayores Para un mejor entendimiento de la carga de combustible en áreas pre y post incendio debería realizarse estos estudios para poder validar los resultados de otras investigaciones. No obstante, en el área del PUFVC han existido incendios forestales que si bien no han afectado la totalidad del bosque andino, si han causado daños a los alrededores y parte del mismo con consecuencias sobre la diversidad de flora, suelos, facilitando el crecimiento de especies invasoras (Aguirre y Yaguana, 2014) lo que podría ser la causa de las cantidades actuales registradas por tipo de combustible muerto en el parque.

En cuanto a las plantaciones forestales, Díaz et al. (2012) calcularon una carga total de 53,65 Mg ha<sup>-1</sup> donde los combustibles leñosos representan el 70 % de esta acumulación y la capa orgánica contribuye con el 30 %, mientras que en la presente investigación el 89 % es para los combustibles leñosos muertos y 11 % para la hojarasca.

Es importante saber que los combustibles ligeros juegan un papel importante en el incremento de la velocidad de propagación del fuego, ya que pierden humedad más rápidamente, mientras que los de diámetros mayores tardan periodos más largos de baja humedad ambiental para estar disponibles, pero una vez encendidos producen mucho calor y arden por tiempos largos, lo que dificulta su control (Wong y Villers, 2007). Por lo anteriormente mencionado, este estudio muestra la susceptibilidad que tiene el bosque nativo ante un incendio por la mayor carga de combustibles medianos y pesados firmes y agrava la condición al acumularse cada vez más combustibles de categorías mayores. Es así que, el área con mayor concentración de combustibles forestales muertos es la zona media considerada el área con un estado de conservación alto y de pendientes moderadas a fuertes y que en caso de suscitarse un incendio ocasionaría la pérdida de gran parte de la biodiversidad concentrada en dicha área.

## **5.2. Cantidad de combustibles forestales vivos en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”**

La carga o cantidad de combustibles forestales vivos representada por la biomasa aérea total presente en el componente arbóreo del bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” en una hectárea es de 116,51 Mg ha<sup>-1</sup>, valor cercano a otras investigaciones realizadas en la provincia de Loja para los bosques andinos, que estimaron valores de biomasa desde los 53,14 Mg ha<sup>-1</sup> a 151,91 Mg ha<sup>-1</sup> reportados por Aguirre et al. (1999), Moser et al. (2011), Ministerio de Ambiente Ecuador (2014), Aguirre et al. (2018), Medina (2018), Palacios et al. (2019), Sarango y Tenempaguay (2020) y Cartuche (2021). Este amplio rango de valores de biomasa se debe principalmente al método utilizado en cada investigación como el uso de ecuaciones o modelos alométricos, factor de expansión, al tamaño de la muestra, tipo de muestreo y el ecosistema. Estos valores son estimaciones adecuadas e importantes para el estudio del comportamiento del fuego el cual es modificado por factores atmosféricos, topografía, y la vegetación que define la cantidad y calidad de biomasa viva de un sitio.

El estudio de la biomasa de los bosques ha sido documentado tanto a nivel nacional como internacional, en otros ecosistemas diferentes al andino se ha estimado la biomasa como lo reportado por Cuenca (2014) para la amazonia ecuatoriana con valores de 124,85 Mg ha<sup>-1</sup>. En Perú, Ramirez (2016) en bosque andinos que obtuvo una cantidad de 102,70 Mg ha<sup>-1</sup>; Gibbon et al. (2010) en los bosques nublados del Perú (Parque Nacional del Manu), reporta un contenido de 63,4 ± 5,2 Mg ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea y Girardin et al. (2010) en bosques andinos reportó una disminución del carbono en la biomasa aérea con respecto al incremento altitudinal

de 247 Mg ha<sup>-1</sup> en 194 m s.n.m hasta 94,06 Mg ha<sup>-1</sup> a 3020 m s.n.m. Es de fundamental importancia conocer estas cantidades de combustibles forestales vivos y comprender que los combustibles son el único factor que se puede manipular y es por ello que la falta de información ocasiona una incorrecta toma de decisiones y elaboración de estrategias en cuanto al manejo de incendios.

La cantidad de biomasa de las especies y familias más representativas del bosque nativo del parque han sido evaluadas por varios autores, en diferentes ecosistemas. Aguirre et al. (1999) obtuvieron en un bosque monoespecífico de *Alnus acuminata* Kunth de 267 Mg ha<sup>-1</sup> y 255 Mg ha<sup>-1</sup> en un bosque mixto a una altitud de 2300 m s.n.m, esto principalmente por el tipo de ecosistema, altitud y condiciones geográficas del sitio. Mientras que Collahuazo y Taicud (2018) en un bosque nublado menciona que las familias Betulaceae, Araliaceae, Myrsinaceae y el género *Weinmannia* son las predominantes, datos similares a este estudio donde *Alnus acuminata* Kunth de la familia Betulaceae y *Oreopanax rosei* Harms de la familia Araliaceae poseen la mayor cantidad de biomasa viva. Jimenez (2017) menciona que *Alnus acuminata* Kunth y *Oreopanax rosei* Harms representan un 76,03 % de la totalidad del bosque dato similar al de esta investigación con un porcentaje de 66,97 %. Por otro lado Céspedes (2011) en una plantación de *Alnus acuminata* Kunth obtuvo una biomasa de 9 Mg ha<sup>-1</sup> a los 5 años y 77 Mg ha<sup>-1</sup> cuando superan los 10 años, dato similar al de esta investigación en donde la especie posee 67,50 Mg ha<sup>-1</sup>; y, Aulestia et al. (2018) reporta que 120 individuos de la especie *Alnus acuminata* Kunth de la familia Betulaceae poseen 46,68 Mg ha<sup>-1</sup> dato inferior al de esta investigación en donde 138 individuos correspondientes a 0,96 ha poseen 64,80 Mg. Para las familias Rosaceae, Proteaceae y Myrsinaceae se reportan valores de 6.16 Mg ha<sup>-1</sup> (Cueva et al., 2019), 2,12 Mg ha<sup>-1</sup>, (Ramírez, 2016) y 9,10 Mg ha<sup>-1</sup> (Jiménez, 2017) respectivamente, similares a los de esta investigación.

La cantidad de biomasa producida está directamente relacionada a las condiciones ambientales del sitio y estructurales de las especies. En un análisis regional se reportan patrones en donde la biomasa disminuye conforme se incrementa la altitud en Ecuador, Bolivia y Perú (Girardin et al. 2014). El comportamiento de la vegetación frente al fuego depende de dos atributos: la inflamabilidad (o efecto) que es la capacidad de la planta para entrar en ignición y consumirse; y la tolerancia al fuego de las especies (o respuesta), es decir la capacidad para sobrevivir y regenerarse frente a este disturbio, la inflamabilidad puede variar acorde a la recurrencia de fuego y que en sitios con una baja frecuencia de estos eventos las especies son menos

inflamables y de menor densidad específica, lo que contribuye a reducir el tiempo de residencia del fuego (Pausas, 2012).

En este sentido, las distintas especies vegetales existentes en los distintos ecosistemas responden de forma diferencial al fuego, dependiendo de sus habilidades para tolerarlo y de los mecanismos de regeneración que posean. En especies que carecen de resistencia o tolerancia al fuego, los incendios, incluso los de menor intensidad, pueden provocar una alta mortalidad. Si las especies que componen una comunidad no se adaptan, el impacto en el ecosistema puede cambiar drásticamente la dinámica y composición de la vegetación y el resto de la cadena trófica (Jaksic y Farina, 2015). No así aquellas especies que se adaptan y necesitan de la temperatura surgida por el incendio para poder germinar, existiendo sí una futura regeneración, como es el caso de las especies pirófitas (Taboada, 2017). Cabe mencionar que en el parque universitario existe evidencia sobre información de especies pirófitas como *Puya eryngioides* André la cual aprovecha el calor de los incendios en su beneficio, sus semillas pueden germinar a altas temperaturas, esta especie puede volverse dominante y limita el establecimiento de otras especies vegetales en el ecosistema donde se suscita un incendio (Sarango, 2019).

Es importantes conocer que la relación de la vegetación y los incendios forestales se centran en la modificación en su estructura, composición y servicios ecosistémicos. El reemplazo de especies nativas por exóticas provoca menor cantidad de precipitación interceptada, mayor movimiento de la masa de aire y mayor cambio en la temperatura y humedad del suelo, modificación de la estructura y composición de la vegetación, disminución de la tasa de descomposición de hojarasca, modificación de las cargas de combustible y el contenido de humedad de la vegetación (Gonzales, 2017). En tal sentido, esta investigación muestra la susceptibilidad que tiene el bosque nativo ante un incendio y los graves efectos que provocaría en el ecosistema, debido a que gran parte de la carga total de combustibles forestales vivos se concentra en la parte media del bosque donde existe la mayor diversidad florística y un alto estado de conservación con pendientes moderadas a fuertes.

### **5.3. Relación entre la carga de combustibles vivos y muertos en el bosque nativo o del parque universitario “Francisco Vivar Castro”**

Los combustibles forestales muertos son el resultado del proceso natural de caída de hojas, acículas, ramas y hojarasca; aunque también se debe a las actividades de aprovechamiento forestal (Díaz et al., 2012). Las cantidades y proporciones de ambos tipos de combustibles varían según el ecosistema de que se trate, la época del año, manejo que tenga y

el grado de intervención antrópica (Caballero et al., 2018; Xelhuantzi et al., 2011). Su importancia radica en que son uno de los principales factores que determinan la ocurrencia y desarrollo de un incendio forestal, así como uno de los principales factores que determinan la dificultad de extinguir incendios, es decir, resistir las actividades defensivas. Si no hay material combustible en un área o terreno determinado, entonces no habría material que pudiera quemarse, por lo que la posibilidad de un incendio sería nula (Díaz, 2015).

La relación existente entre la carga total de combustibles vivos y muertos en el bosque nativo del PUFVC evidencia una correlación positiva moderada de ( $r= 0,57$ ), lo que quiere decir que a mayor cantidad de combustible vivo mayor es la cantidad de combustible muerto, presente en el bosque, no obstante, la asociación entre ambas variables no fue perfecta positiva lo que quiere decir que otros factores podrían estar influyendo en la cantidad de combustibles presentes en el parque universitario como pendiente, características de las especies, presencia de especies pioneras e invasoras, ocurrencia de incendios, condiciones climáticas.

## 6. CONCLUSIONES

- El bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” posee una carga total de combustibles forestales muertos de 32,53 Mg ha<sup>-1</sup>, de este total el 89 % corresponde a combustibles leñosos y el 11 % a hojarasca.
- El bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” presenta todos los tipos de combustibles forestales muertos, esto es: finos/livianos, pequeños/ligeros, regulares/medianos, grandes/pesados y hojarasca con diferentes valores; de los que la mayor carga o cantidad está en los combustibles muertos regulares/medianos y pesados firmes con 7,60 Mg ha<sup>-1</sup> (24 %) y 7,17 Mg ha<sup>-1</sup> (22 %) respectivamente, constituyendo al bosque nativo como un reservorio potencial para la existencia de incendios forestales.
- La carga o contenido total del combustible forestal vivo del bosque nativo en el parque universitario “Francisco Vivar Castro” es de 116,52 Mg ha<sup>-1</sup>. La especie *Alnus acuminata* Kunth representa el 67,50 % del combustible vivo, principalmente por el DAP superior a las demás especies y al mayor número de individuos por hectárea registrados. Las especies *Acalypha diversifolia* Jacq., *Mauria heterophylla* Kunth, *Miconia* sp., *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers y *Oreopanax andreanus* Marchal poseen las menores cantidades de combustibles vivos, inferiores a 0,02 Mg ha<sup>-1</sup>.
- La existencia de combustibles forestales muertos y vivos presentes en el bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro” se debe en parte a la asociación positiva moderada que existe entre estas dos variables, no obstante, existen otras variables que podrían estar influyendo en la existencia de las cantidades de combustibles como pendientes, tipo y características de las especies, ocurrencia de incendios y condiciones climáticas.
- La mayor carga de combustible forestal vivo y muerto se encuentra presente en las áreas con un buen estado de conservación del bosque nativo del parque universitario “Francisco Vivar Castro”, siendo esta información un insumo clave e importante en la identificación de áreas con riesgo o susceptibles a incendios forestales.

## 7. RECOMENDACIONES

- Por la ocurrencia de incendios forestales en áreas aledañas al parque universitario y que afectan al mismo, es importante aplicar esta metodología en los otros tipos de cobertura vegetal existente como plantaciones, páramo y matorral, con la finalidad de conocer las cargas totales de combustibles forestales muertos.
- Para que un incendio se desarrolle se necesita la interacción de factores biológicos que influyen en la ocurrencia y comportamiento de los incendios. Por ello se debe complementar estos estudios con investigaciones de otras variables que influyen en los incendios forestales tales como la inflamabilidad de los combustibles muertos, propiedades y clasificación del material combustible, condiciones ambientales, inflamabilidad de especies, topografía.
- Es necesario replicar este tipo de estudios en ecosistemas que han sido afectados por incendios forestales para poder realizar comparaciones entre cantidades de combustibles existentes en áreas pre y post incendio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agama, V. (2016). *Los incendios forestales vulneran los derechos de la naturaleza en el Distrito Metropolitano de Quito, en la Parroquia de Puembo en el año 2015*. 1–95.
- Aguirre, Z., Quizhpe, W., & Pinza, D. (2018). Estimación del carbono acumulado en una parcela permanente de bosque andino en el parque universitario Francisco Vivar Castro, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3), 939–952. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25307>
- Aguirre, Z., & Yaguana, C. (2014). *Parque Universitario de Recreacion Ambiental Francisco Vivar Castro*. 30.
- Arellano, A., Ávila, D., Erazo, J., & Hervas, C. (2015). Evaluación de una red de sensores inalámbrica para la detección de incendios forestales. *Revista Tecnológica ESPOL*, 28(3), 115–130. <https://doi.org/10.13053/rcs-107-1-7>
- Aulestia, E., Jiménez, L., Quizhpe, J., & Capa, D. (2018). *Alnus acuminata* Kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosque latitud Cero*, 8(2), 64–74. [http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Alnus acuminata/](http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/especie/Alnus%20acuminata/)
- Barrionuevo, S., & Lopez, J. (2008). Evaluación de las propiedades de los combustibles vegetales como indicador de áreas críticas de incendios forestales en Santiago del estero (Argentina). *Revista Forestal Venezolana*, 2, 147–152. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24483/articulo3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Botta, N. (2013). *El fuego* (R. Proteger (ed.); 1a ed.). <https://isbn.cloud/9789872788964/el-fuego/>
- Brown, J. (1974). Hand for inventorying downed woody material. En *USDA Forest Service* (Vol. 7, Número 2).
- Brown, J., Oberheu, R., & Johnston, C. (1982). Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. *USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report*, INT-GTR-129.
- Brown, S., & Lugo, A. (1984). Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223, 1290–1293. <https://doi.org/10.1126/science.223.4642.1290>

- Caballero, P., Juárez, S., Martínez, D., Cruz, O., Pérez, E., & Aguirre, O. (2018). Combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado en la Mixteca alta, Oaxaca, México. *Foresta Veracruzana*, 20(1).
- Cartuche, F. (2021). *Estimación del carbono acumulado en la biomasa aérea de una parcela permanente de bosque andino en Cajanuma, parque nacional Podocarpus*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja].  
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23786>
- Carvajal, C. (2019). *Efecto del contenido de humedad de un estrato de combustible forestal sobre el retardo del tiempo de ignición* [Tesis de post grado, Universidad Técnica Federico Santa María]. file:///C:/Users/USER/Downloads/3560900260841UTFSM.pdf
- Carvalho, G. (2011). Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. *Revista chilena de historia natural*, 3. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2010000300014>
- Castañeda, M., Endara, A., Villers, M., & Nava, E. (2015). *Evaluación forestal y de combustibles en bosques de Pinus hartwegii en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios*. 21, 45–58.
- Céspedes, L. (2011). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa en Alnus acuminata (Kunth) en Costa Rica*.  
[http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3159/Modelos\\_alometricos\\_para\\_la\\_estimacion\\_de\\_biomasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3159/Modelos_alometricos_para_la_estimacion_de_biomasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*, 145(1), 87–99.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chávez, Á. A., Xelhuanzi Carmona, J., Rubio Camacho, E. A., Villanueva Díaz, J., Flores López, H. E., & De la Mora Orozco, C. (2016). Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2589–2600.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.485>

- Cochrane, M. (2010). *Tropical fire ecology: climate change land use and ecosystem dynamics*.
- Collahuazo, R., & Taicud, K. (2018). *Evaluación de carbono fijo en bosque nublado en la reserva sabia esperanza ubicada en Imbabura-Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Tecnica del Norte.
- Columba, M., Alezandra, W., Padilla, O., & Toulkeridis, T. (2016). Identificación de zonas de recurrencia de incendios forestales mediante análisis multitemporal y aplicación de índices espectrales, en el distrito metropolitano de Quito. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 1(3), 7–13.
- Cueva, E., Lozano, D., & Yaguana, C. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque (Valdivia)*, 40(3), 365-378  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000300365>
- Díaz, E. (2015). *Construcción de Mapas de Combustible Forestal para Detectar el Peligro de Incendio en un Bosque de Pino-Encino* [Tesis de post grado, Universidad Autonoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/9390/1/1080214888.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 de los Incendios Forestales: Cambio Climático e incendios Forestales*, 426–436.  
<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/44565>
- Erazo P, J. K., & Hervas P, C. A. (2014). Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas ( Zigbee ). *MASKANA*, 1–11.
- FAO, & PNUMA. (2020). *Estado de los bosques del mundo*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Giler, L. (2020). *Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de Eucalyptus sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabi].
- Gonzales, P. (2017). *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*.

<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUE NTA&prmID=39186>

Gould, J., McCaw, L., & Cheney, P. (2011). Cuantificar la dinámica del combustible fino y estructura en el bosque seco de eucalipto (*Eucalyptus marginata*) en el oeste de Australia para el manejo de incendios. *Manejo y Ecología Forestal*, 3, 531–546.

Harja, D., Rahayu, S., & Pambudi, S. (2020). *The functional attributes and ecological Data Base Wood Density*. <http://db.worldagroforestry.org/wd>

Heikkilä, T., Gronqvist, R., & Jurvélius, M. (2010). *Gestión de incendios forestales manual para formadores*. <http://www.fao.org/3/i1363e/i1363e.pdf>

Jaksic, F., & Farina, J. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1), 23-34. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100003>

Jimenez, D. (2017). *Generación de indicadores florísticos para el monitoreo de la restauración ecológica en áreas degradadas del bosque siempreverde montano de la cordillera oriental de los Andes del Sur* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19052/1/DOMINGO HERIBERTO JIMÉNEZ TORRES.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19052/1/DOMINGO%20HERIBERTO%20JIM%C3%89NEZ%20TORRES.pdf)

Limongi, R. (2020). *Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de Eucalyptus sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5586/1/iniapeptesisLGILER2020.pdf>

Martínez, J., Rodríguez, D., Borja, M., & Rodríguez, G. (2018). Propiedades físicas y dinámica de los combustibles forestales en un bosque de encino. *Madera y Bosque*, 24. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421467>

Medina, J. (2018). Diversidad florística y estimación de la captura de carbono en tres ecosistemas del parque universitario Francisco Vivar Castro, cantón Loja, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21532>

Ministerio Ambiente y Agua Ecuador. (2020). *Plan de Contingencia de Incendios Forestales buscar prevenir, mitigar y controlar este fenómeno natural*.

<https://www.ambiente.gob.ec/plan-de-contingencia-de-incendios-forestales-buscar-prevenir-mitigar-y-controlar-este-fenomeno-natural/#>

Ministerio de Ambiente de Panamá. (2015). *Metodología de investigación de causas que provocan los incendios forestales*.

[http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2902/Technical/Investigacion de causas de ocurrencia de incendios forestales.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2902/Technical/Investigacion%20de%20causas%20de%20ocurrencia%20de%20incendios%20forestales.pdf)

Ministerio de Ambiente y Agua Ecuador. (2014). Evaluación Nacional Forestal Resultados. En *Ecuador* (Vol. 1).

[http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluación+Nacional+Forestal\\_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f](http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluación+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f)

Ministerio de Ambiente y Agua Ecuador. (2020). *Aprende sobre incendios forestales, únete a #CuidemosLosBosques*. <https://www.ambiente.gob.ec/aprende-sobre-incendios-forestales-unete-a-cuidemoslosbosques/>

Morfin, J., Jardel, E., & Michel, J. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. In *Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara*. Guadalajara, Jalisco, México. <https://doi.org/10.13140/2.1.3342.4326>

Najera, J., & Hernandez, E. (2015). *Estimacion de la carga de combustibles forestales en un bosque coetaneo de la región de El Salto, Durango*.

Naranjo, E. (2014). *Evaluación de la carga de combustibles forestales en un bosque mixto de la sierra de Coyuga de Benítez, estado de México* [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/4031/combustible\\_forestales\\_coyuca\\_de\\_benitez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/4031/combustible_forestales_coyuca_de_benitez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Oña, E. V. (2016). *Los Incendios Forestales en el área ecológica dentro del Cerro Ilaló, Valle de Los Chillos, en los sectores vulnerables de contaminación; El Tingo, Alangasí y las consecuencias jurídicas en la naturaleza en el año 2015*.

Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. En *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>

Palacios, T., Chamorro, S., & Jaramillo, J. (2019). Valoración económica ambiental,

- producción de biomasa y carbono de un bosque nativo andino, frente a plantaciones forestales eucalyptus globulus y Pinus patula, en la provincia de Loja. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 25–31. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1801>
- Pausas, J. (2012). *Incendios Forestales. Una visión desde la ecología*. <https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=i1jZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&ots=0KKDLYuYDF&sig=X1cm2UoIc27BfSBty0GYC6Eg30g#v=onepage&q&f=false>
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA*, 1, 11–18.
- Peralta, E. (2017). *Plan de contingencia contra incendios forestales en el sector de “El Batán”*.
- Perez, M., & Díaz, J. (2010). *Estimación del carbono contenido en la biomasa forestal area de dos bosque andinos en los departamentos de Santander y Cundinamarca*.
- Pico, O. (2018). *Comportamiento dle fuego a escarla experimental en una plantacion Tectona grandis Linn F. en Jipijapa, Manabi, Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabi].
- Ramirez, S. (2016). *Contenido de carbono en suelo y biomasa arbórea en el bosque de neblina de Samanga, Ayabaca, Piura*. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1336/CIE-RAM-MED-16.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, M., Padrón, C., & Cabrera, J. (2013). Comportamiento histórico de los incendios forestales en la Empresa Forestas “Minas de Matahambre”, Pinar del Río, Cuba de 2002 a 2011. *Revista Cu*, 1(2).
- Rienzo, D., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, E., & Robledo, C. (2008). *InfoStat* (Núm. 2008, p. 336).
- Rosenfield, M., & Souza, A. (2014). Forest biomass variation in Southernmost Brazil: The impact of Araucaria trees. *Revista de Biología Tropical*, 62(1), 359–372. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i1.7923>
- Sarango, A. (2016). *Impactos ambientales ocasionados por los incendios forestales en areas seminaturales del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2015*. [Tesis de grado,

Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Sarango, F., & Tenempaguay, W. (2020). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea, necromasa (hojarasca) y en el suelo de un bosque de pino en la comuna Paquisha (Provincia de Loja)* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19153/1/UPS-CT008822.pdf>

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* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja].

[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22526/1/Johanna Maribel Sarango Cobos.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22526/1/Johanna%20Maribel%20Sarango%20Cobos.pdf)

Sarango, J., Muñoz, J., Muñoz, L., & Aguirre, Z. (2019). Impacto ecológico de un incendio forestal en la flora del páramo antrópico del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 101–114.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias del Ecuador. (2020). *Incendios Forestales*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2020). *Informe de Situación - Cierre de Incendios Forestales Informe de Situación - Cierre de Incendios Forestales*. 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>

Simangunsong, B., Sitanggang, V., Manurung, E., Rahmadi, A., Moore, G. A., Aye, L., & Tambunan, A. (2017). Potential forest biomass resource as feedstock for bioenergy and its economic value in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 81(March 2017), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.022>

Taboada, J. (2017). El peligro de las especies pirófilas en los incendios forestales. *TYS Magazine*. <https://www.tysmagazine.com/peligro-las-especies-pirofilas-los-incendios-forestales/>

The Nature Conservancy. (2004). *El Fuego, los ecosistemas y la gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación*. [https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/FireLandscapes/LANDFIRE/Documents/El Fuego los Ecosistemas y la Gente.pdf](https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/FireLandscapes/LANDFIRE/Documents/El%20Fuego%20los%20Ecosistemas%20y%20la%20Gente.pdf)

Troya, D. (2017). *Análisis del efecto generado por los incendios forestales sobre la*

*diversidad, abundancia y gremios tróficos de la avifauna del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito* [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador].  
<http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1903>

Ulloa, C. (2019). *Guías de plantas Plant guides. VIII*, 10.

<https://www.missouribotanicalgarden.org/Portals/0/staff/PDFs/ulloa/Ecuador.pdf>

Valle, F., & Brito, G. (2016). *Sistema electrónico de alerta temprana de incendios forestales mediante procesamiento digital de imágenes para la Empresa Municipal del Cuerpo de Bomberos Ambato*. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23071>

Wong, J., & Villers, M. (2007). *Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche*. 87–103.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56906206>

Xelhuantzi, J., Flores, J., & Chávez, Á. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 37–52.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Medidas resumen de la carga total de combustibles forestales muertos

#### Medidas resumen

Variable	n	Media	D.E.	Var(n)	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Suma	Kurtosis
Livianos	24	5.01	0.64	0.39	0.13	12.74	3.71	6.14	5.15	120.32	-0.67
Ligeros	24	4.27	0.94	0.85	0.19	22.03	2.67	6.16	4.28	102.47	-0.76
Medianos	24	7.61	4.09	16.07	0.84	53.83	2.85	17.40	7.17	182.56	0.08
Pesados firmes	24	7.18	6.58	41.50	1.34	91.71	0.00	27.63	6.36	172.21	2.36
Pesados podridos	24	4.91	6.40	39.28	1.31	130.36	0.00	21.10	1.14	117.87	0.33
Hojarasca	24	3.56	1.26	1.53	0.26	35.52	1.77	6.56	3.52	85.41	0.34
Carga total	24	32.53	12.75	155.77	2.60	39.19	16.16	67.42	30.07	780.83	0.59

### Anexo 2. Prueba de Kruskal Wallis para determinar las diferencias entre los tipos de combustibles

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Combustibles	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Carga	Hojarasca	24	3.56	1.26	3.52	24.22	0.0002
Carga	Ligeros	24	4.27	0.94	4.28		
Carga	Livianos	24	5.01	0.64	5.15		
Carga	Medianos	24	7.61	4.09	7.17		
Carga	Pesadosfirmes	24	7.18	6.58	6.36		
Carga	Pesadospodridos	24	4.91	6.40	1.14		

Trat.	Ranks
Hojarasca	48.25 A
Pesadospodridos	58.21 A
Ligeros	63.83 A B
Pesadosfirmes	83.17 B C
Livianos	83.46 B C
Medianos	98.08 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Anexo 3. Carga total de los tipos de combustibles forestales muertos por parcela en Mg ha<sup>-1</sup>

Parcelas	Livianos	Ligeros	Medianos	Pesados firmes	Pesados podridos	Hojarasca	Carga total
A	3,816	3,622	5,090	0,000	0,000	3,632	16,160
B	5,364	3,913	7,411	6,875	0,000	6,472	30,036
C	4,425	3,851	4,169	9,536	0,000	3,794	25,775
D	4,705	4,443	9,119	6,980	18,519	2,686	46,452

<b>E</b>	5,424	6,155	8,604	1,318	6,644	2,450	30,593
<b>F</b>	5,839	5,002	3,178	10,543	3,758	1,773	30,094
<b>G</b>	4,485	4,693	4,117	2,705	0,000	2,435	18,435
<b>H</b>	5,663	3,247	14,968	1,458	0,739	4,674	30,748
<b>I</b>	4,838	5,074	15,788	5,652	10,092	3,918	45,361
<b>J</b>	4,466	3,945	4,336	4,316	0,000	2,174	19,237
<b>K</b>	4,579	5,739	7,963	6,470	12,166	3,171	40,088
<b>L</b>	6,136	4,323	10,106	11,863	1,453	2,244	36,126
<b>M</b>	5,867	4,246	5,526	20,160	14,875	3,220	53,894
<b>N</b>	5,618	3,675	10,608	6,245	21,100	3,974	51,220
<b>O</b>	5,380	5,279	17,396	27,630	9,183	2,550	67,418
<b>P</b>	5,221	4,783	3,014	0,000	5,299	3,742	22,059
<b>Q</b>	3,713	2,667	5,832	3,947	5,885	3,400	25,443
<b>R</b>	5,225	4,818	8,713	7,341	0,824	4,025	30,946
<b>S</b>	4,934	3,619	9,430	7,658	0,000	3,090	28,733
<b>T</b>	5,080	2,718	6,927	1,918	0,000	6,560	23,203
<b>V</b>	4,438	3,515	4,912	7,856	0,000	4,664	25,386
<b>W</b>	5,289	5,287	9,578	3,082	0,000	4,016	27,252
<b>X</b>	5,455	2,881	2,854	2,142	0,000	4,835	18,167
<b>Y</b>	4,358	4,973	2,918	16,513	7,332	1,911	38,005
<b>Promedio</b>	<b>5,013</b>	<b>4,270</b>	<b>7,607</b>	<b>7,175</b>	<b>4,911</b>	<b>3,559</b>	<b>32,535</b>

Anexo 4. Cálculo combustible muerto por parcela del bosque nativo en Mg ha<sup>-1</sup>

<b>Parcela</b>	<b>Carga total de combustible forestal muerto</b>	<b>Grupo</b>
<b>O</b>	67,42	1
<b>M</b>	53,89	1
<b>N</b>	51,22	1
<b>D</b>	46,45	1
<b>I</b>	45,36	1
<b>K</b>	40,09	1

<b>Y</b>	38,01	1
<b>L</b>	36,13	1
<b>R</b>	30,95	2
<b>H</b>	30,75	2
<b>E</b>	30,59	2
<b>F</b>	30,09	2
<b>B</b>	30,04	2
<b>S</b>	28,73	2
<b>W</b>	27,25	2
<b>C</b>	25,78	2
<b>Q</b>	25,44	2
<b>V</b>	25,39	2
<b>T</b>	23,20	2
<b>P</b>	22,06	2
<b>J</b>	19,24	2
<b>G</b>	18,44	2
<b>X</b>	18,17	2
<b>A</b>	16,16	2
<b>Promedio</b>	<b>32,52</b>	

Anexo 5. Análisis estadístico de la biomasa aérea y biomasa de la raíz

### Medidas resumen

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	P(05)
Biomasa aérea	48	1.87	7.53	1.09	403.35	0.00	51.92	0.14	0.04	0.87	6.52	0.01
Biomasa raíz	48	0.56	2.26	0.33	403.35	0.00	15.58	0.04	0.01	0.26	6.52	2.2E-03

Anexo 6. Cálculo combustible vivo por familia forestal del bosque nativo

Familia	DAP cm	D g/cm <sup>3</sup>	BA kg/cm <sup>3</sup>	BR kg/cm <sup>3</sup>	BT kg/cm <sup>3</sup>
<b>Betulaceae</b>	25,03	0,38	49846,83	14954,05	64800,88
<b>Araliaceae</b>	13,82	0,51	7984,07	2395,22	10379,30

<b>Rosaceae</b>	11,47	0,62	4899,99	1470,00	6369,99
<b>Myrsinaceae</b>	8,90	0,72	4627,94	1388,38	6016,33
<b>Clethraceae</b>	12,47	0,50	3886,70	1166,01	5052,71
<b>Rubiaceae</b>	7,38	0,55	3255,06	976,52	4231,57
<b>Siparunaceae</b>	10,75	0,66	1717,80	515,34	2233,14
<b>Moraceae</b>	9,98	0,62	1581,68	474,50	2056,18
<b>Melastomataceae</b>	9,60	0,65	1199,50	359,85	1559,34
<b>Proteaceae</b>	10,84	0,85	977,84	293,35	1271,19
<b>Lauraceae</b>	10,49	0,48	970,85	291,25	1262,10
<b>Adoxaceae</b>	7,08	0,44	849,72	254,91	1104,63
<b>Clusiaceae</b>	6,61	0,67	815,80	244,74	1060,54
<b>Urticaceae</b>	8,08	0,43	800,27	240,08	1040,35
<b>Solanaceae</b>	8,21	0,51	522,30	156,69	678,99
<b>Meliaceae</b>	12,16	0,34	506,75	152,03	658,78
<b>Chloranthaceae</b>	7,63	0,45	337,99	101,40	439,38
<b>Fabaceae</b>	14,47	0,60	316,82	95,05	411,87
<b>Asteraceae</b>	7,52	0,61	306,09	91,83	397,92
<b>Rhamnaceae</b>	7,41	0,57	212,30	63,69	276,00
<b>Piperaceae</b>	6,48	0,42	144,06	43,22	187,28
<b>Hypericaceae</b>	13,28	0,43	121,38	36,41	157,79
<b>Ericaceae</b>	8,35	0,63	58,42	17,53	75,95
<b>Cunoniaceae</b>	7,73	0,51	55,86	16,76	72,62
<b>Actinidiaceae</b>	10,20	0,44	30,65	9,20	39,85
<b>Euphorbiaceae</b>	7,00	0,34	9,43	2,83	12,26
<b>Anacardiaceae</b>	6,90	0,33	8,83	2,65	11,48
<b>TOTAL</b>			<b>86044,94</b>	<b>25813,48</b>	<b>111858,43</b>

**DAP**= Diámetro a la altura de pecho, **D**: Densidad madera g/cm<sup>3</sup>; **BA**=Biomasa aéreo kg/m<sup>3</sup>; **BR**=Biomasa de la raíz kg/m<sup>3</sup>; **BT**= Biomasa Total kg/m<sup>3</sup>

## Anexo 7. Análisis estadístico de las familias del bosque nativo

### Medidas resumen

Familia	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Min	Máx	Mediana	Suma	Cuad.	P(05)
Ericaceae	Biomasa viva	2	0.04	0.03	0.02	68.33	0.02	0.06	0.04	3.9E-03	0.02	
Euphorbiaceae	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.6E-04	sd	
Meliaceae	Biomasa viva	7	0.10	0.19	0.07	195.07	0.01	0.53	0.02	0.29	0.01	
Actinidiaceae	Biomasa viva	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	1.7E-03	sd	
Adoxaceae	Biomasa viva	60	0.02	0.01	1.9E-03	77.05	0.01	0.09	0.02	0.03	0.01	
Anacardiaceae	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.4E-04	sd	
Araliaceae	Biomasa viva	59	0.18	0.37	0.05	201.81	0.01	2.55	0.07	9.91	0.01	
Asteraceae	Biomasa viva	12	0.03	0.04	0.01	110.38	0.01	0.15	0.02	0.03	0.01	
Betulaceae	Biomasa viva	138	0.49	0.58	0.05	117.68	0.01	3.17	0.31	78.41	0.02	
Chloranthaceae	Biomasa viva	18	0.03	0.03	0.01	106.34	0.01	0.12	0.02	0.02	0.01	
Clethraceae	Biomasa viva	50	0.11	0.13	0.02	120.46	0.01	0.78	0.07	1.34	0.01	
Clusiaceae	Biomasa viva	46	0.02	0.02	2.2E-03	63.34	0.01	0.08	0.02	0.04	0.01	
Cunoniaceae	Biomasa viva	3	0.03	0.01	0.01	35.53	0.02	0.03	0.03	2.1E-03	0.02	
Fabaceae	Biomasa viva	3	0.14	0.07	0.04	46.20	0.07	0.20	0.15	0.07	0.07	
Hypericaceae	Biomasa viva	2	0.08	0.04	0.03	51.41	0.05	0.11	0.08	0.02	0.05	
Lauraceae	Biomasa viva	21	0.06	0.06	0.01	96.63	0.01	0.21	0.04	0.16	0.01	
Melastomataceae	Biomasa viva	17	0.10	0.17	0.04	179.18	0.01	0.64	0.03	0.62	0.01	
Moraceae	Biomasa viva	29	0.07	0.08	0.02	112.58	0.01	0.35	0.04	0.35	0.01	
Myrsinaceae	Biomasa viva	96	0.07	0.09	0.01	141.43	0.01	0.75	0.04	1.22	0.01	
Piperaceae	Biomasa viva	14	0.01	0.01	2.3E-03	62.53	0.01	0.04	0.01	3.7E-03	0.01	
Proteaceae	Biomasa viva	11	0.12	0.11	0.03	93.42	0.02	0.29	0.07	0.29	0.02	
Rhamnaceae	Biomasa viva	10	0.03	0.03	0.01	87.49	0.01	0.09	0.02	0.01	0.01	
Rosaceae	Biomasa viva	58	0.11	0.17	0.02	146.89	0.01	1.12	0.05	2.37	0.01	
Rubiaceae	Biomasa viva	152	0.03	0.04	2.9E-03	122.54	0.01	0.30	0.02	0.32	0.01	
Siparunaceae	Biomasa viva	27	0.09	0.07	0.01	80.84	0.01	0.25	0.06	0.33	0.01	
Solanaceae	Biomasa viva	21	0.03	0.03	0.01	89.20	0.01	0.12	0.02	0.04	0.01	
Urticaceae	Biomasa viva	41	0.03	0.02	3.0E-03	72.06	0.01	0.09	0.02	0.04	0.01	

## Anexo 8. Cálculo combustible vivo por especie forestal del bosque nativo

Especie	DAP	D	BA	BR	BT
	Cm	g/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	25,03	0,38	49846,83	14954,05	64800,88
<i>Oreopanax rosei</i> Harms	14,25	0,52	7769,09	2330,73	10099,82
<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp.	11,65	0,58	4121,40	1236,42	5357,83
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	12,47	0,50	3886,70	1166,01	5052,71
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	8,87	0,72	3254,61	976,38	4230,99
<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	7,37	0,55	3205,09	961,53	4166,62
<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) A. DC.	10,75	0,66	1717,80	515,34	2233,14

<i>Morus insignis</i> Bureau	9,98	0,62	1581,68	474,50	2056,18
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly	8,94	0,72	1373,34	412,00	1785,34
<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudin) Triana	13,29	0,69	1012,44	303,73	1316,17
<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ex Nees	10,49	0,48	970,85	291,25	1262,10
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	7,08	0,44	849,72	254,91	1104,63
<i>Roupala obovata</i> Kunth	13,88	0,81	837,39	251,22	1088,61
<i>Phenax laevigatus</i> Wedd.	8,08	0,43	800,27	240,08	1040,35
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (DC.) Lindl.	10,65	0,83	778,59	233,58	1012,17
<i>Clusia latipes</i> Planch. & Triana	6,54	0,68	741,50	222,45	963,95
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	12,16	0,34	506,75	152,03	658,78
<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & Pav.) Solms	7,63	0,45	337,99	101,40	439,38
<i>Solanum aphyodendron</i> S. Knapp	7,93	0,54	318,86	95,66	414,52
<i>Senna viarum</i> (Little) H.S. Irwin & Barneby	14,47	0,60	316,82	95,05	411,87
<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Weberb. ex M.C. Johnst.	7,41	0,57	212,30	63,69	276,00
<i>Sciodaphyllum</i>	10,98	0,45	208,08	62,42	270,51
<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) Naudin	7,22	0,63	178,71	53,61	232,32
<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R. Br.	7,19	0,89	140,45	42,13	182,58
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Planch. & Triana	13,28	0,43	121,38	36,41	157,79
<i>Gynoxys</i> sp.	14,31	0,66	107,94	32,38	140,32

<i>Solanum oblongifolium</i> Dunal	8,93	0,41	105,14	31,54	136,69
<i>Verbesina pentantha</i> S.F. Blake	7,04	0,64	97,99	29,40	127,39
<i>Clusia alata</i> Planch. & Triana	7,63	0,56	74,30	22,29	96,60
<i>Piper pubinervulum</i> C. DC.	7,64	0,39	73,84	22,15	95,99
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	8,35	0,63	58,42	17,53	75,95
<i>Cestrum mariquitense</i> Kunth	8,55	0,49	56,02	16,81	72,82
<i>Weinmannia ovata</i> Ruiz & Pav.	7,73	0,51	55,86	16,76	72,62
<i>Baccharis obtusifolia</i> Kunth	6,50	0,56	53,36	16,01	69,36
<i>Piper barbatum</i> Kunth	5,87	0,45	49,75	14,92	64,67
<i>Lycianthes</i> sp1	8,25	0,49	42,28	12,68	54,96
<i>Verbesina cf arborea</i> Kunth	9,70	0,64	39,82	11,95	51,77
<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	10,20	0,44	30,65	9,20	39,85
<i>Guettarda hirsuta</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	8,10	0,73	29,06	8,72	37,78
<i>Palicourea</i> sp1	7,95	0,55	20,90	6,27	27,17
<i>Piper bogotense</i> C. DC.	5,77	0,39	20,48	6,14	26,62
<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	7,00	0,34	9,43	2,83	12,26
<i>Mauria heterophylla</i> Kunth	6,90	0,33	8,83	2,65	11,48
<i>Miconia</i> sp	5,20	0,63	8,35	2,50	10,85
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers	5,00	0,58	6,99	2,10	9,08
<i>Oreopanax andreanus</i> Marchal	5,20	0,52	6,90	2,07	8,97
<b>TOTAL</b>			<b>86044,94</b>	<b>25813,48</b>	<b>111858,4 3</b>

DAP= Diámetro a la altura de pecho, D: Densidad madera g/cm<sup>3</sup>; BA=Biomasa aérea kg/m<sup>3</sup>; BR=Biomasa de la raíz kg/m<sup>3</sup>; BT= Biomasa Total kg/m<sup>3</sup>

## Anexo 9. Análisis estadístico de las especies del bosque nativo

### Medidas resumen

Especies	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Suma	Cuad.	P(05)
<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq..	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.6E-04	sd	
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Biomasa viva	138	0.49	0.58	0.05	117.68	0.01	3.17	0.31	78.41	0.02	
<i>Axinaea macrophylla</i> (Naudi..	Biomasa viva	7	0.20	0.24	0.09	122.93	0.02	0.64	0.07	0.62	0.02	
<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz ..	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	9.0E-05	sd	
<i>Baccharis obtusifolia</i> Kunt..	Biomasa viva	4	0.02	0.01	3.4E-03	37.57	0.01	0.03	0.02	1.4E-03	0.01	
<i>Cavendishia bracteata</i> (Rui..	Biomasa viva	2	0.04	0.03	0.02	68.33	0.02	0.06	0.04	3.9E-03	0.02	
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex ..	Biomasa viva	7	0.10	0.19	0.07	195.07	0.01	0.53	0.02	0.29	0.01	
<i>Cestrum mariquitense</i> Kunth..	Biomasa viva	2	0.04	0.04	0.03	107.20	0.01	0.07	0.04	4.5E-03	0.01	
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Biomasa viva	50	0.11	0.13	0.02	120.46	0.01	0.78	0.07	1.34	0.01	
<i>Clusia alata</i> Planch. & Tri..	Biomasa viva	3	0.03	0.04	0.02	111.60	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	
<i>Clusia latipes</i> Planch. & T..	Biomasa viva	43	0.02	0.01	2.0E-03	56.53	0.01	0.07	0.02	0.03	0.01	
<i>Guettarda hirsuta</i> (Ruiz & ..	Biomasa viva	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	1.5E-03	sd	
<i>Gynoxys</i> sp.	Biomasa viva	1	0.15	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.02	sd	
<i>Hedyosmum scabrum</i> (Ruiz & ..	Biomasa viva	18	0.03	0.03	0.01	106.34	0.01	0.12	0.02	0.02	0.01	
<i>Hesperomeles obtusifolia</i> (..	Biomasa viva	10	0.11	0.09	0.03	88.62	0.02	0.34	0.09	0.19	0.02	
<i>Lycianthes</i> spl	Biomasa viva	2	0.03	0.01	0.01	51.09	0.02	0.04	0.03	1.9E-03	0.02	
<i>Mauria heterophylla</i> Kunth	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.4E-04	sd	
<i>Miconia</i> sp	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	1.3E-04	sd	
<i>Miconia obscura</i> (Bonpl.) N..	Biomasa viva	9	0.03	0.01	4.0E-03	44.45	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	
<i>Morus insignis</i> Bureau	Biomasa viva	29	0.07	0.08	0.02	112.58	0.01	0.35	0.04	0.35	0.01	
<i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipol..	Biomasa viva	31	0.06	0.06	0.01	92.65	0.01	0.26	0.04	0.20	0.01	
<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pi..	Biomasa viva	65	0.07	0.11	0.01	155.98	0.01	0.75	0.03	1.01	0.01	
<i>Nectandra laurel</i> Klotzsch ..	Biomasa viva	21	0.06	0.06	0.01	96.63	0.01	0.21	0.04	0.16	0.01	
<i>Oreocallis grandiflora</i> (La..	Biomasa viva	5	0.04	0.02	0.01	54.75	0.02	0.07	0.04	0.01	0.02	
<i>Oreopanax andreanus</i> Marcha..	Biomasa viva	1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	8.7E-05	sd	
<i>Oreopanax rosei</i> Harms	Biomasa viva	53	0.20	0.39	0.05	195.17	0.01	2.55	0.09	9.89	0.01	
<i>Palicourea amethystina</i> (Ru..	Biomasa viva	150	0.03	0.04	2.9E-03	123.60	0.01	0.30	0.02	0.32	0.01	
<i>Palicourea</i> spl	Biomasa viva	1	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	8.0E-04	sd	
<i>Phenax laevigatus</i> Wedd.	Biomasa viva	41	0.03	0.02	3.0E-03	72.06	0.01	0.09	0.02	0.04	0.01	
<i>Piper barbatum</i> Kunth	Biomasa viva	6	0.01	4.1E-03	1.7E-03	36.22	0.01	0.02	0.01	8.4E-04	0.01	
<i>Piper bogotense</i> C. DC.	Biomasa viva	3	0.01	2.2E-03	1.3E-03	23.96	0.01	0.01	0.01	2.7E-04	0.01	
<i>Piper pubinervulum</i> C. DC.	Biomasa viva	5	0.02	0.01	0.01	61.28	0.01	0.04	0.01	2.6E-03	0.01	
<i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp..	Biomasa viva	48	0.12	0.18	0.03	155.18	0.01	1.12	0.05	2.18	0.01	
<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz & ..	Biomasa viva	10	0.03	0.03	0.01	87.49	0.01	0.09	0.02	0.01	0.01	
<i>Roupala obovata</i> Kunth	Biomasa viva	6	0.19	0.11	0.05	59.19	0.03	0.29	0.22	0.28	0.03	
<i>Saurauia bullosa</i> Wawra	Biomasa viva	1	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	1.7E-03	sd	
<i>Sciodaphyllum</i>	Biomasa viva	5	0.06	0.03	0.01	56.74	0.02	0.10	0.04	0.02	0.02	
<i>Senna viarum</i> (Little) H.S...	Biomasa viva	3	0.14	0.07	0.04	46.20	0.07	0.20	0.15	0.07	0.07	
<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & ..	Biomasa viva	27	0.09	0.07	0.01	80.84	0.01	0.25	0.06	0.33	0.01	
<i>Solanum oblongifolium</i> Duna..	Biomasa viva	4	0.04	0.04	0.02	107.29	0.01	0.09	0.02	0.01	0.01	
<i>Solanum aphyodendron</i> S. Kn..	Biomasa viva	13	0.03	0.03	0.01	94.03	0.01	0.12	0.02	0.03	0.01	
<i>Verbesina cf arborea</i> Kunth..	Biomasa viva	1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	2.9E-03	sd	
<i>Verbesina pentantha</i> S.F. B..	Biomasa viva	5	0.03	0.02	0.01	58.98	0.01	0.05	0.02	4.5E-03	0.01	
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth...	Biomasa viva	60	0.02	0.01	1.9E-03	77.05	0.01	0.09	0.02	0.03	0.01	
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Plan..	Biomasa viva	2	0.08	0.04	0.03	51.41	0.05	0.11	0.08	0.02	0.05	
<i>Weinmannia ovata</i> Ruiz & Pa..	Biomasa viva	3	0.03	0.01	0.01	35.53	0.02	0.03	0.03	2.1E-03	0.02	

Anexo 10. Cálculo combustible vivo por parcela del bosque nativo en Mg ha<sup>-1</sup>

<b>Parcelas</b>	<b>Carga total de combustible forestal vivo</b>	<b>Grupo</b>
<b>O</b>	11,99	1
<b>N</b>	8,91	1
<b>Y</b>	8,63	1
<b>K</b>	7,90	1
<b>G</b>	7,10	1
<b>L</b>	6,12	1
<b>J</b>	5,69	1
<b>D</b>	5,43	1
<b>I</b>	5,35	1
<b>C</b>	5,27	1
<b>Q</b>	5,18	1
<b>X</b>	5,17	1
<b>M</b>	4,33	2
<b>A</b>	4,21	2
<b>P</b>	4,07	2
<b>W</b>	3,66	2
<b>E</b>	3,58	2
<b>F</b>	3,43	2
<b>R</b>	3,28	2
<b>B</b>	3,10	2
<b>H</b>	2,23	2
<b>S</b>	1,11	2
<b>T</b>	0,45	2
<b>V</b>	0,33	2
<b>TOTAL</b>	116,52	

Anexo 11. Análisis estadístico prueba Shapiro-Wilks

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
CV	24	4.86	2.73	0.96	0.6567
CM	24	32.54	12.75	0.90	0.0671

Anexo 12. Análisis estadístico coeficiente de correlación

**Coeficientes de correlación**

*Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades*

	CV	CM
CV	1.00	3.9E-03
CM	0.57	1.00