



UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA

Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de
Eucalyptus sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador

AUTOR

Lenin Xavier Giler Rivera

JIPIJAPA - MANABÍ - ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA

Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de
Eucalyptus sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador

AUTOR

Lenin Xavier Giler Rivera

TUTOR

Ing. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Dr.C

CO-TUTOR

M. Sc. Ricardo Limongi Andrade

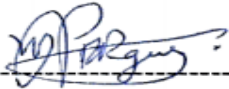
JIPIJAPA - MANABÍ - ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Dr.C, Catedrático de la Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, certifico que el Señor Lenin Xavier Giler Rivera ha realizado el Proyecto de Investigación intitulado “Comportamiento del fuego en quemas experimentales bajo plantaciones de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador”, bajo la dirección de quien suscribe, habiendo el estudiante cumplido con las disposiciones y requisitos que para el efecto se requiere.

Jipijapa, 05 de Marzo del 2020

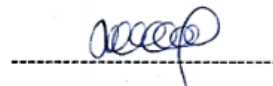


Ing. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Dr.C.
DOCENTE TUTOR

APROBACIÓN DEL INFORME POR EL TRIBUNAL**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**APROBADO POR EL TRIBUNAL DE TITULACIÓN DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y LA AGRICULTURA**

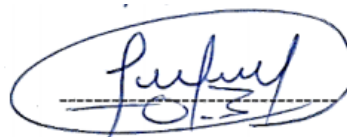
Dr. Colon Alfredo González Vázquez, Mg.Sc.
PRESIDENTE



Dr.C. Ignacio Estévez Valdés
MIEMBRO PRINCIPAL



Ing. Tayron Omar Manrique Toala
MIEMBRO PRINCIPAL



Lic. René Gras Rodríguez
MIEMBRO PRINCIPAL



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado primero a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr los objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, hermanos y novia por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por las motivaciones constantes que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi tutor el Ing. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Dr.C., y al Ing. Ricardo Limongi Andrade, M.Sc. por su gran apoyo y motivación para la culminación de este trabajo.

A mis compañeros Víctor Niemes, Erick Cantos, Elías Zambrano y Don Emilio, por su gran apoyo para culminar con éxito este trabajo.

Finalmente, a mi abuelo que desde el cielo está muy orgulloso de mí por haberlo logrado.

Lenin Xavier Giler Rivera

RECONOCIMIENTO

Mis sencillos reconocimientos, a la Universidad Estatal del Sur de Manabí, a los docentes de la Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, y sobre todo al Dr.C. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, tutor del proyecto de investigación y al Ing. Ricardo Limongi Andrade, M.Sc. encargado del INIAP por las orientaciones y apoyo brindado para culminar el presente trabajo.

A mis padres por apoyarme en todo sentido a lo largo de mi vida.

Lenin Xavier Giler Rivera

Índice de Contenidos

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL INFORME POR EL TRIBUNAL.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RECONOCIMIENTO	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Objeto y Campo de Acción.....	3
1.2.1 Objeto de estudio.....	3
1.2.2 Campo de acción	3
1.3. Pregunta de Investigación	3
1.4. Alcance de la Investigación.....	3
1.5. Hipótesis de Investigación	3
2. Marco Referencial.....	4
2.1. Generalidades Sobre los Eucaliptos.....	4
2.1.1. Distribución de las especies de eucaliptos	4
2.1.2. Descripción botánica y taxonomía	4
2.1.3. Importancia de los eucaliptos.....	5
2.2. Quemas Prescritas y Quemas Controladas.....	5
2.2.1. Técnicas de quema	6
2.2.2. Métodos de quema	8
2.3. Efectos del Fuego	8
2.4. Proceso de Combustión en los Incendios Forestales	9
2.5. Comportamiento del Fuego	9
2.5.1. Parámetros del comportamiento del fuego	10

2.5.1.1 Dimensiones de las llamas	10
2.5.1.2. Tasa de propagación.....	11
2.5.1.3. Intensidad lineal del fuego	11
2.5.1.4. Calor de combustión del material húmedo	11
2.5.1.5. Calor liberado por unidad de área	12
2.5.1.6. Altura de secado letal	12
2.6.2. Topografía.....	13
2.6.3. Propiedades del material combustible	13
2.6.3.1. Calor de combustión	14
2.6.3.2. Carga de combustible	14
2.6.3.3. Compactación o consistencia del combustible.....	14
2.6.3.4. Homogeneidad de los combustibles	14
2.6.3.5. Contenido de humedad del combustible	15
2.6.4. Clasificación del material combustible.....	15
3. Materiales y Métodos.....	16
3.1. Caracterización del Área Experimental.....	16
3.2. Delimitación del Área Experimental y Colecta de Datos.....	17
3.3. Caracterización de los Combustibles.....	18
3.4. Evaluación de Parámetros del Comportamiento del Fuego.....	19
3.5. Correlación entre Variables	20
4. Resultados.....	21
4.1. Condiciones Meteorológicas y Características de los Combustibles	21
4.2. Parámetros del Comportamiento del Fuego.....	22
4.3. Análisis de Correlación.....	23
5. Discusión	29
5.1. Condiciones Meteorológicas y Características de los Combustibles	29
5.2. Parámetros del Comportamiento del Fuego.....	29
5.3. Análisis de Correlación.....	30
6. Conclusiones	31
7. Recomendaciones	32
8. Referencias Bibliográficas.....	33

Índice de Tablas

Tabla1. Timelag para las distintas clases de combustibles muertos.....	21
Tabla2. Variables utilizadas en el experimento de quemas experimentales bajo plantaciones de <i>Eucalyptus</i> sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador.....	26
Tabla3. Interpretación de los valores de las correlaciones de Spearman.....	26
Tabla4. Condiciones meteorológicas el día de la quema en cada parcela experimental.....	27
Tabla5. Características del combustible antes y después de la quema en cada parcela.....	28
Tabla6. Valores de los parámetros del comportamiento del fuego en cada parcela de quema.....	29
Tabla7. Matriz de correlación entre las variables utilizadas en los análisis.....	31

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del área experimental.....	22
Figura 2. Ubicación y delimitación de las parcelas de quema en el rodal de <i>Eucalyptus</i> sp.	23
Figura 3. Análisis de regresión realizado entre la altura de secado letal y la intensidad lineal del fuego.....	32
Figura 4. Análisis de regresión realizado entre el peso del combustible consumido y la intensidad lineal del fuego.....	32
Figura 5. Análisis de regresión realizado entre el peso del combustible consumido y la altura de secado letal.....	33

Resumen

La reducción de la cantidad de combustible depositado en el piso del bosque permite disminuir las ocurrencias y la propagación del fuego. Una técnica que puede ser utilizada para lograr esto, es el uso de fuegos de baja intensidad, lo cual debe ser suficientemente argumentado a través de investigaciones científicas. Este trabajo tuvo el objetivo de analizar el comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador. Se delimitaron 10 parcelas de 2 x 5 m en las que se aplicó el fuego utilizando la técnica de quema a favor del viento. Durante el desarrollo del experimento se realizaron en cada parcela tres mediciones de las variables temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento a 0,50 m del suelo y separados una distancia que evitara que llegara el calor al instrumento de medición. Para caracterizar el material combustible se obtuvieron informaciones sobre peso, espesura y contenido de humedad antes y después de la quema. Los parámetros del comportamiento del fuego considerados fueron velocidad de propagación, altura de las llamas, intensidad lineal del fuego y calor liberado por unidad de área. También se determinó la relación existente entre las variables utilizadas en el experimento. Se 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⁻²; 7,63 cm; 0,67 m; 0,0069 m.s⁻¹ y 74,70 kcal.m⁻¹.s⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: Intensidad del fuego, propagación, combustibles

Abstract

The reduction of the amount of fuel deposited in the forest floor allows the occurrence and spread of fire to be reduced. One technique that can be used to this achieve, is the use of low intensity fires, must be sufficiently argued through scientific research. This work aimed to analyze the behavior of fire in surface fuels of a plantation of Eucalyptus sp. in Santa Ana, Manabí, Ecuador. Ten plots of 2 m x 5 m were delimited in which the fire was applied using the wind-burning technique. During the development of the experiment the wind speed and the relative humidity of the air were measured at 0.50 m above ground level and 1 m away from the end of the plot where the fire started. Also, the wind direction was measured. To characterize the combustible material, information on weight, thickness and moisture content was obtained before and after burning. The fire behavior parameters considered were speed of propagation, height of the flames, linear intensity of the fire and heat released per unit area. The relationship between the variables used in the experiment was also determined. Average values of quantity of combustible material, burning depth, flame height, fire propagation speed and linear intensity of 2.86 kg.m⁻² were obtained; 7.63 cm; 0.67 m; 0.0069 m. s⁻¹ and 74.70 kcal.m⁻¹.s⁻¹, respectively.

Key word: Fire intensity, propagation, fuels

1. Introducción

Durante las últimas décadas se ha realizado una cantidad apreciable de investigaciones sobre el comportamiento del fuego en diferentes tipos de vegetación. Algunas de las más recientes en bosques de *Pinus sp.* han sido las desarrolladas por Castillo & Garfias (2014); Batista *et al.* (2013).

Los incendios pueden alterar severamente la estabilidad de los ecosistemas, modificando la estructura y composición de especies, afectando las dinámicas sucesionales, y perturbando interacciones ecológicas clave del sistema. Factores que sumados se traducen en una pérdida de funcionalidad del ecosistema de difícil recuperación (Carvalho, 2010). Además, algunos incendios, especialmente los de gran extensión y severidad, o repetidos en un corto espacio de tiempo, pueden dejar profundas huellas en el ecosistema y desencadenar procesos erosivos y degradativos que pueden incrementar notablemente la magnitud (Anchaluisa & Suárez, 2013).

El éxito en las actividades de mitigación de incendios forestales (ubicación de cortafuegos e identificación de áreas de riesgo) depende de qué tan efectivo sea el personal de bomberos comprendiendo el comportamiento del fuego. Por comportamiento del fuego se refiere a la magnitud, dirección e intensidad de la propagación del fuego (Velásquez, 2013). Por propagación del fuego se conoce a la serie de igniciones donde el calor del fuego causa un aumento en la temperatura del combustible hasta alcanzar la temperatura de ignición (Nyatondo, 2010).

Una de las alternativas para disminuir el riesgo o disminuir el potencial de daños, es reducir periódicamente la cantidad de material combustible en el interior de los rodales mediante el uso del fuego. Según Montiel & Kraus (2010), el fuego prescrito se utiliza principalmente como herramienta en la prevención activa y pasiva de incendios donde las operaciones de quemas prescritas se basan en el uso de fuegos de baja intensidad que apuntan a reducir las cargas de combustible y reducir así los riesgos de los incendios de alta intensidad.

En el caso de los incendios forestales se observa desde hace varios años una tendencia al aumento de sus ocurrencias. Estos se han visto favorecidos, entre otras causas, por los cambios climáticos, eventos como el Niño o la Niña, la pobreza o el aumento de la población. Hoy día los incendios forestales son un problema global motivo por el cual son el centro de análisis de distintos organismos y organizaciones

nacionales e internacionales para desarrollar iniciativas con vistas a su solución (Ramos, 2010).

El mal uso o el uso descontrolado del fuego causa estragos en la sociedad y en el medio, destruyendo la propiedad y el capital natural, agotando las fuentes de nutrientes, contaminando las aguas, reduciendo la biodiversidad, aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero, produciendo trastornos en las comunicaciones, diezmando el ganado e incluso matando a las personas (Soares, 2000; Ramos, 2010; Pico, 2018).

El comportamiento del fuego es un término que ha sido empleado para designar la forma de desarrollo del fuego y sus características físicas durante el transcurso del incendio. Corresponde al conjunto de efectos, principalmente de carácter físico y mecánico, que se observan en el ambiente afectado por la propagación del fuego, en su desarrollo, es posible estudiar algunos atributos, entre ellos la velocidad de propagación (Soto, & Salinas, 2014).

Considerando la importancia de contar con criterios científicos según los cuales se pueda continuar utilizando el fuego de forma segura en las plantaciones de *Eucalyptus* sp. con fines de prevención de incendios, el objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el material combustible superficial existente en las parcelas experimentales.
- Evaluar parámetros del comportamiento del fuego tales como velocidad de propagación, altura de las llamas, intensidad lineal de fuego y calor liberado por unidad de área.
- Determinar la correlación existente entre las variables utilizadas en el experimento.

1.2. Objeto y Campo de Acción

1.2.1 Objeto de estudio

Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp.

1.2.2 Campo de acción

Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. considerando características del combustible, variables meteorológicas y parámetros del comportamiento del fuego.

1.3. Pregunta de Investigación

¿Cuál será el comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador?

1.4. Alcance de la Investigación

La investigación es descriptiva y correlacional.

1.5. Hipótesis de Investigación

El comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de *Eucalyptus* sp. será similar al reportado por otros investigadores en otros lugares.

2. Marco Referencial

2.1. Generalidades Sobre los Eucaliptos

2.1.1. Distribución de las especies de eucaliptos

Las especies del género *Eucalyptus* han sido promovidas para el establecimiento de reforestaciones a nivel mundial. Entre las ventajas de estas especies están su alta demanda en el mercado gracias a su versatilidad, así como sus buenas tasas de crecimiento (hasta 40 m³/ha/año), especialmente en áreas con calidades de sitio apropiadas. En el territorio ecuatoriano, se han promovido plantaciones con especies de dicho género (Díaz *et al.*, 2012; Guzmán, 2012).

La especie es originaria de Australia y Tasmania, es un género de rápido desarrollo, en el que se describen cerca de 700 variedades de Eucalipto, distribuidas en diferentes zonas, especialmente de templanzas mediterráneas, tropicales o subtropicales. Se sitúa también en países como México, Guatemala, Brasil, Nicaragua, Colombia, Costa Rica, Ecuador y Chile (Verdugo, Solaz, & López, 2017).

2.1.2. Descripción botánica y taxonomía

El *Eucalyptus* sp ostenta una agraciada resistencia al quebranto hídrico, la madera es apreciada, moderadamente ligera, con médula característica, su regeneración acontece por medio de la brotación de las cepas (Remache, 2012). La simetría de crecimiento y de la ganancia de volumen son colectivamente superiores, cuando se contrastan a otras variedades convencionales (desarrollo en diámetro 20 % superior a otros individuos), puede obtener un 15 % más que la altura supuesta (Lara & Guilcapi, 2019).

El eucalipto está ubicado taxonómicamente en el Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Rosidae, Orden Myrtales, Familia Myrtaceae, Subfamilia Myrtoideae y Género *Eucalyptus* (Terrén, 2000)

De acuerdo a Liu & Li (2010), los eucaliptos poseen un dosel recto en forma de cilindro, copa frondosa, corteza externa (ritidoma) de color marrón claro con semejanza a la piel, que se desprende en tiras dimitiendo manchas grises o pardas, la corteza interior se visualiza más lisa. Las hojas son sésiles, elípticas y grisáceas, prolongadas y resistentes, de un color azulado brillante en la adultez. Flores blanquecinas y solitarias, frutos en formas de cápsulas y semillas pequeñas.

2.1.3. Importancia de los eucaliptos

El *Eucalyptus* sp es una especie de vertiginoso crecimiento y posee grandes cantidades de usos. Cortes *et al.* (2015), señala que esta especie se utiliza principalmente en la producción de celulosa para la manufactura papelera y variados usos en la explotación farmacéutica, también en la elaboración de productos antiinflamatorios, desinfectantes, antidiabéticos y antiespasmódicos proporciona una buena producción de miel a través de sus flores, controla la erosión mediante su uso en plantaciones, entre otros.

2.2. Quemias Prescritas y Quemias Controladas

De acuerdo a Nutto, Vázquez y Delgado (2015) la concentración de una ignición en la que se tiene cuidado se debe realizar según los parámetros establecidos por un Plan Técnico Escrito en el que se instauran las situaciones de acuerdo a los materiales combustibles, la meteorología y la topografía del área que se realizara la quema. En el Plan se implanta la velocidad del viento, datos de la temperatura, humedad relativa para valorar la conducta del fuego que sea adecuada, esto con el fin de lograr los objetivos.

En la actualidad se estima que las quemias prescritas es una herramienta decisiva para el manejo integrado del fuego en plantaciones o bosques. En la presente década, estas prácticas simplemente eran realizadas por profesionales competitivos en la rama de prevención y combate de incendios e incluso investigadores. A partir del año 2000, poco a poco, su realización ha ganado terreno en el ambiente de la conservación. Aún no se hace un prolongable uso de estas pericias; sin embargo, progresivamente se van explorando sus beneficios (Anchaluisa & Suárez, 2013).

Las quemias prescritas poseen un objetivo primordial inherente a su ejecución. Sin embargo, constantemente habrá objetivos anexados que puedan añadirse y esto último debe estar inmerso en el posible plan de quema. Se incorpora ciertos ejemplos de distintas partes del Ecuador y de la tierra, para poner de realce la jerarquía de las quemias prescritas (Anchaluisa & Suárez, 2013).

Las quemias controladas se determinan por la poca intensidad (temperaturas menores a 400 °C) y mínima inclemencia del fuego (Flores, 2010), por esto para obtener su intervención se debe imaginar esencialmente el combustible presente, el clima y la topografía (Molina, 2000). Para ello, se realizan continuamente en época invernal, cuando el alto contenido de componente seco o materia vegetal garantiza una buena y eficaz quema en la combustión, el ambiente frío y la superficie húmeda disminuyen

los riesgos de esparcimiento incontrolada de la quema (Martínez; Ramos; Castillo; Bonilla; Sotolongo, 2004).

Aunque consta una vasta información sobre los posibles efectos ambientales en las quemas controladas en ecosistemas mediterráneos, escasos estudios se concentran en las quemas controladas de los matorrales en ambientes húmedos, elaboradas con el objetivo de optimizar los pastos (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019).

En la quema convenientemente planificada se consiguen varios objetivos: reducir el material combustible peligrosa ya que sistematiza su densidad, su constitución y el nivel de materia prima y por ende reduce los peligros de ocurrencia de igniciones de gran ímpetu; apartar vegetación indeseable; provocar el incremento de malezas de interés vacuno y proporcionar rebrotes sustanciosos para el ganado; favorecer a la inspección de plagas y enfermedades, la elaboración y preparación del suelo para propagar o plantar (Khouri, Prendes, 2006).

Las quemas controladas demuestran, casi siempre, un aumento de material combustible susceptible de ser deteriorado a causa de la destrucción de la superficie y un mayor tránsito superficial del agua por motivo de la eliminación de la cobertura vegetal (Cui, Font, & Fern, 2000).

2.2.1. Técnicas de quema

La técnica de quema puede ser determinada como la estrategia de organización del fuego en un incendio. Dicho con otras palabras. Se consigue señalar que concierne a la secuencia y oportunidad del establecimiento de líneas de quemas en los distintos sectores del área en tratamiento (Garnica, Carmona, & Durán, 2010).

Cuando se habla de técnicas de quemas en especies forestales, podemos analizar varias de ellas, pueden ser utilizadas para atender los objetivos planteados en diferentes condiciones como: topográficas, meteorológicas y material combustible (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2019). A continuación, se tratan diferentes tipos de quema.

2.2.1.1. Quema contra el viento (retroceso)

Está fundamentada esencialmente en hacer fuego gradualmente en orientación contraria al viento es decir es sentido descendiente a la tendencia de la pendiente. Es iniciado el fuego a lo largo de la línea base dispuesta, esto se puede ser una trocha al trazar un camino u otra forma de barrera, y se dimite que se consuma contra la

orientación del viento (o en el sentido del declive). Esta práctica es la más factible y segura entre los tipos de quema controlada (Oliver, 2013).

2.2.1.2. *Quema a favor del viento*

Camargos, Ribeiro, da Silva, Martins, & da Silva C., (2015) disponen que este tipo de quema es la más intensa, por presentar las más rápidas tasas de propagación, las más amplias zonas de quemas y las mayores longitudes de las llamas. La quema contra el viento es menos intensa, presentando las menores tasas de propagación, una estrecha zona de quema y pequeña longitud de las llamas. La quema en flancos presenta intensidades intermedias entre la quema a favor y la quema contra el viento.

2.2.1.3. *Quema de flancos*

Es denominada igualmente como quema en cuña o por fajas verticales. Radica en emplear líneas de fuego sincrónicas y distantes, pero equitativamente, dirigidas en forma semejante en consecuencia del viento o también de la pendiente (Martínez *et al.*, 2011).

Según Martínez (2001), en EE. UU. desde hace muchos años, aparte del encendido terrestre, se emplea el encendido aéreo, utilizando en la ignición el sistema DAID (Mecanismo de Ignición Aérea Retardada), también denominado mecanismo de la bola de Ping-Pong o el lanzallamas suspendido desde helicópteros.

El sistema DAID utiliza esferas pequeñas de Permanganato Potásico inyectadas con etilen – glycol que se lanzan inmediatamente antes de que se produzca la reacción química y la llama consume la bola (Ocampo, & Beltrán, 2018). Este sistema de Ping-pong se utiliza normalmente cuando los combustibles son homogéneos, en caso de discontinuidad o heterogeneidad se emplea el lanzallamas.

En Cuba se han utilizado métodos de encendido terrestres. Por mucho tiempo se utilizaron ramas secas o las hojas de distintas especies de palmas. En la actualidad es posible utilizar las antorchas de goteo (Ramos, 2010).

En Ecuador, para quemar los desechos de cosechas los campesinos utilizan cañas bien secas, que una vez encendidas, permiten hacer una línea de fuego sin dificultades. Este método es utilizado también por los bomberos cuando necesitan hacer una contracandela o una faja quemada (Fernández, 2015).

2.2.2. Métodos de quema

Aunque en los últimos tiempos se ha visto la predisposición de las compañías forestales de preocuparse ponderadamente por emplear el fuego en forma eficaz, con el propósito de impedir o someter sus efectos contradictorios, sin embargo, en la totalidad de los casos, se evidencia el cumplimiento de quemas utilizando programaciones y técnicas impropias. Por lo habitual, no se estima una clara disposición por la representación de usar el fuego para el beneficio de los objetivos alcanzados Verdugo, Solaz, & Sanjosé, (2017).

En países desarrollados con extensas plantaciones se puede apreciar que hace años los métodos utilizados son factibles para crear incendios controlados ya sean terrestres o encendidos aéreos, estos utilizando en quemas del sistema DAID (Mecanismo de Ignición Aérea Retardada), también llamado por distintos autores Martínez, *et al.*, (2004); Schimidtke (2015); Zúñiga *et al.*, (2017) como mecanismo de la bola de Ping Pong o el lanzallamas suspendido controlados desde helicópteros.

2.3. Efectos del Fuego

Pico (2018), plantea que algunos efectos que genera el fuego, igual que cualquier otro fenómeno, pueden ser negativos o positivos para las plantaciones o bosques. De forma negativa estos efectos están relacionados con perjuicios o resultados negativos, por lo consiguiente si son positivos, serán concernientes con los beneficios y ventajas.

Por otra parte, Ño & Medidas (2013), señalan que los efectos por flagelos acatan su inestabilidad en el tiempo y espacio. La intensidad, la continuidad y duración del fuego varía en el lapso de un tiempo establecido; la distribución y la prolongación se alteran en el espacio. Estas variables precisan el comportamiento del fuego, coexistiendo los factores ya mencionados, conjuntamente con los escenarios climatológicos, combustibles y topográficos.

Los incendios forestales pueden originar algunos cambios en corto y largo plazo en el paisaje, la dimensión de estas permutaciones es provocada por el fuego en los elementos de los ecosistemas (suelo, flora, agua y fauna) considera factores específicos como (la fuerza del fuego y la gravedad de este) y externos (flora, superficies, geomorfología, etc.) (Ño & Medidas, 2013).

La consecuencia más visible del fuego es la reducción de la cubierta vegetal. Sin embargo, la totalidad de los incendios que acontecen son de baja severidad, los incendios recurrentes de alta intensidad pueden observarse casualmente en muchos

ambientes. Los incendios periódicos pueden aquejar a la flora en corto plazo, estos efectos consiguen variar considerable dependiendo de las peculiaridades de las especies y su capacidad de dispersión (Cerano-Paredes *et al.*, 2019).

2.4. Proceso de Combustión en los Incendios Forestales

El combustible es un material esencial para la aparición y propagación del fuego, es uno de los elementos básicos dentro del triángulo de combustión como lo es también del triángulo de la propagación (Anchaluisa & Suárez, 2013).

Toda la materia que se puede encontrar en el bosque o plantaciones es 100 % combustible que consumirá el posible incendio. En un flagelo, el foco calórico se suele caracterizar por ser exacto y efímero, esto lo pueden crear un rayo, una chispa de colilla. (Khouri & Prendes, 2006).

Si no existiera suficiente combustible vegetal alrededor del punto de inicio y a su vez desprenda calor para extender la causa del incendio iniciado, se lo denominara “reacción en cadena”, posteriormente el flagelo se sofocaría por sí mismo (Cerano-Paredes, 2007).

2.5. Comportamiento del Fuego

La conducta del fuego es una expresión que ha sido empleado por Terrén (2000), para elegir la forma correcta para el desarrollo del fuego y sus tipologías físicas durante la duración del incendio, concierne al conjunto de efectos de carácter físico y fundamental mecánico, que se reconocen en el ecosistema afectado por la difusión del fuego.

Indagaciones realizadas en la mecánica del fuego y la ciencia del combustible por Alvear (2000), se han encaminado en concebir y representar la forma en que se realiza la propagación del fuego a través de los posibles combustibles forestales y, en establecer cómo la vivacidad de la propagación se ve afectar por factores atmosféricos, topográficos y combustibles.

Estudios precedentes están orientados substancialmente a establecer las diferentes conjugaciones entre las circunstancias de combustión y las inconstantes que pudieran ayudar a enfrentar los problemas sobre igniciones. Las variables como saturación y carga del combustible, vivacidad del viento, topografía, humedad relativa, entre otras (Soares, 2000).

Ciertas variables como el combustible, la atmósfera y topografía persistentes o inalterables, se consiguen a un ritmo inmutable de difusión.

De acuerdo a Fernández (2015), los carburantes forestales tienen alta influencia sobre el comportamiento de las igniciones en numerosas formas, dependiendo de variables, las más significativas ya que se trata del combustible aprovechable para el flagelo, es decir, simboliza gran segmento de la energía potencial ardiente que puede ser redimida al desplegar un incendio.

También los factores topográficos para Fernández (2015) y Molina (2000), tienen una correlación directa con la dirección del fuego todo lo que concierne a la propagación, tanto en velocidad como extensión del fuego. Al encontrarse el flagelo con una pendiente, aumenta el calor que se transporta por irradiación y convección al momento de ascender el fuego.

Los elementos meteorológicos también acceden a delimitar en forma positiva a los espacios clave de viable ocurrencia en los incendios y la predisposición de propagación que consiguen presentar. Mediante diversas variables como la temperatura del aire, el almacenamiento de humedad en la vegetación influye en que se volatiliza con mayor prisa el agua almacenada y la colecta de energía para iniciar el incendio (Morfin, Jardel, Alvarado, & Fuentes, 2012).

2.5.1. Parámetros del comportamiento del fuego

Las características sobre los efectos del fuego y las discusiones entre los investigadores revelan un serio problema: raramente una característica referente al fuego es descrita en términos cuantitativos. Frecuentemente el fuego no es descrito enteramente, apenas su ocurrencia es documentada. Los observadores pueden describir un fuego como caliente o frío, o en términos tales como: corriendo, quemando, etc. (Soto, & Salinas, 2014).

2.5.1.1 Dimensiones de las llamas

Esta variable puede ser considerada a partir de la intensidad lineal del fuego Ecuación 1 según Batista (1990) o medida en el momento de la quema de forma directa.

$$h_c = 0,15 * I^{0.46} \quad (1)$$

Donde I = es la intensidad lineal del fuego representada en kcal.m⁻¹. s⁻¹

hc = longitud de la llama en metros

2.5.1.2. Tasa de propagación

El modelo propuesto por Rothermel (1972), por ejemplo, se basa en la teoría de conservación de la energía. Basado en esta observación Trabaud (1979) desarrolló dos ecuaciones para estimar la velocidad de propagación del fuego, una basada en los dos primeros parámetros y otra, más precisa, incluyendo el contenido de humedad.

Ecuaciones 2 y 3.

$$r = 0,066 * V^{0,439} * h_v^{0,345} \quad (2)$$

$$r = \frac{5,72 * V^{0,400} * h_v^{0,345}}{U^{1,12}} \quad (3)$$

Donde r = velocidad de propagación del fuego, representada en cm.s^{-1}

V = velocidad media del viento, representada en cm.s^{-1}

h_v = altura de la vegetación, en centímetros “cm”

U = contenido de humedad de la vegetación, representada en % del peso verde

2.5.1.3. Intensidad lineal del fuego

Byram (1959) citado por Batista *et al.* (2001) definió este término como “la tasa de energía o calor liberado por unidad de tiempo y por unidad de longitud de frente de fuego”. Numéricamente es igual al producto de la cantidad de combustible disponible por su calor de combustión y por la velocidad de propagación del fuego, como muestra la ecuación 4 de Byram 1959:

$$I = H * w * r \quad (4)$$

Donde I = intensidad lineal dispuesta en “ $\text{kcal.m}^{-1} . \text{s}^{-1}$ ”

H = calor de combustión en kcal.kg^{-1} ($\pm 4000 \text{ kcal.kg}^{-1}$)

w = peso del combustible disponible y se representa en “ kg.m^{-2} ”

r = velocidad de propagación representada en “ m.s^{-1} ”

2.5.1.4. Calor de combustión del material húmedo

El calor de combustión del material húmedo se puede calcular a través de la Ecuación 5 (Countryman, 1977).

$$Hw = Hd * \left(\frac{100-U/7}{100+U} \right) \quad (5)$$

Dónde: Hw = Calor de combustión del material en húmedo

Hd = Calor de combustión del material en seco

U = contenido de humedad del MC determinadas en %

2.5.1.5. Calor liberado por unidad de área

El calor liberado por unidad de área puede ser estimado a través de la intensidad del fuego, simplemente dividiéndola por la velocidad de propagación. Ecuación 6 (Soares *et al.*, 2017).

$$Ha = \frac{I}{r} \quad (6)$$

Dónde: Ha = calor liberado por UA representada en kcal.m⁻²

I = intensidad del fuego establecidas en kcal.m⁻¹ s⁻¹

r = velocidad de propagación del fuego está dada en m.s⁻¹

2.5.1.6. Altura de secado letal

Van Wagner (1973) descubrió que la altura de secado letal en copas de coníferas varía con una potencia de 2/3 de la intensidad del fuego. Ecuación 7.

$$h_s = 0,385 * I^{2/3} \quad (7)$$

Incluyendo los efectos de la velocidad del viento y de la temperatura ha sido desarrollada la ecuación 8, para calcular la altura de secado letal para plantaciones de *Pinus ponderosa*:

$$h_s = \frac{3,94.I^{7/6}}{(0,107.I+V^3)^{1/2}*(60-T)} \quad (8)$$

Dónde: hs = a la altura de secado letal dispuestas en metros

I = intensidad del fuego establecida en kcal.m⁻¹.s⁻¹

V = velocidad el viento dada en m.s⁻¹

T = temperatura del aire obtenida en °C.

2.6. Factores que Afectan el Comportamiento del Fuego

2.6.1. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas son otro de los factores que determinan la propagación del fuego. Según Batista (1990), existen pocas actividades que dependan más de los elementos meteorológicos que los bosques y el control de los incendios

forestales, la propagación del fuego incide de forma directa o indirecta sobre las condiciones meteorológicas. Soares (1985) señala que los principales factores meteorológicos que intervienen en el comportamiento del fuego son humedad relativa, estabilidad atmosférica, temperatura, precipitación, orientación y velocidad del viento.

2.6.2. Topografía

La topografía tiene alta influencia y dominio sobre los incendios forestales, estos se originan en zonas que habitualmente tienen un relieve irregular, además de una pendiente considerable, no sólo aflige la conducta del incendio por sí sola, sino que además determina a los otros dos elementos como puede ser la meteorológica y los combustibles (Ponce, 2017; Pico, 2018). Los componentes topográficos que incurren en el comportamiento del fuego están establecidos y entre ellos se destacan altitud, orientación, gradiente de pendiente y morfología del terreno.

2.6.3. Propiedades del material combustible

Los materiales combustibles poseen varias peculiaridades, por eso para el estudio se agrupan en internos como: (combustión o poder calorífico y constitución química) y externas como: (carga, humedad, relación superficie/volumen, densidad aparente o compactación, homogeneidad y continuidad). A partir de estas peculiaridades básicas abarcan otras: inflamabilidad y combustibilidad (Cui *et al.*, 2000).

La distribución de los diferentes tipos de combustibles, tanto horizontal como vertical controla parcialmente hacia donde el fuego consigue ir y con la velocidad que esta se propaga (Morfin *et al.*, 2012). La continuidad horizontal se entiende como la distribución uniforme o no de los carburantes. Afecta a su vez y concisamente a los sucesos de propagación de las igniciones. Por otro lado, la continuidad vertical de los combustibles se presenta a través de la pericia de los combustibles en las diferentes alturas, la vegetación toma la forma de peldaños de una escalinata, a su vez es responsable de la propagación de las flamas con dirección desde la base hasta las copas de los distintos árboles (Año & Medidas, 2013)

Es indispensable el manejo del fuego y el conocimiento de las propiedades de los combustibles que existen dentro del bosque, ya que se conoce de variables para comprender el comportamiento del fuego, además de sus efectos como las emisiones (Cui *et al.*, 2000). Algunos ejemplos claros y precisos de estas propiedades al observar

la disposición de materiales para combustible en el incendio ya sea superficial, subterráneo o aéreo, entre estas existe la continuidad horizontal y vertical, destacando el peso, la descomposición de la materia, el tiempo de duración de la quema, tamaño del combustible, carga, la relación que existe entre la superficie y volumen, contenido de humedad, compactación, entre otras (Schmidtke, 2015).

2.6.3.1. Calor de combustión

Para Guillenm (2007), la energía que conlleva a la reacción de ignición se proyecta hacia el poder calorífico o calor de incineración, el cual logra ser determinado como el monto de calor liberado cuando el material es sometido a una ignición completa. El poder ardiente de los combustibles forestales transforma de acuerdo con la variedad y el tipo determinado de material inflamable.

2.6.3.2. Carga de combustible

El aumento de la carga o cantidad de combustible demuestra si el fuego va o no a trascender el monto de calor librado por las llamas durante el incendio. De acuerdo con diversas comprobaciones, debe preexistir un mínimo de 1,25 t. ha⁻¹ de materia vegetal o carburante fino además de estar seco y disperso en la superficie para que un fuego superficial logre propagarse (Rodríguez & Silva, 2004). 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-Ríos *et al.*, 2012).

2.6.3.3. 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, 2010).

2.6.3.4. Homogeneidad de los combustibles

La homogeneidad se refiere a la distribución de los carburantes, tanto horizontal como de manera vertical. La prolongación de los combustibles controla en parte hacia donde las llamas pueden ir y la rapidez con la que se puede propagar. La continuación horizontal logra ser comprendida como una distribución similar o no de los carburantes,

a su vez afecta concisamente las posibilidades de expansión de las igniciones (Soares, 2000).

2.6.3.5. Contenido de humedad del combustible

Quizás este es el factor más significativo al evaluar los combustibles, este interviene en la posibilidad de que se inicie un flagelo y en la conducta que esta desenvuelve una vez ocasionado. Antes de que encienda el combustible, es preciso evaporar la abundancia de humedad si fuera el caso. Por consiguiente, la humedad del combustible establece la cantidad demandada de calor para incendiar el componente vegetal, así como el calor del combustible ardiente que pueda transponer a partículas contiguas (Peni & Serena, 2011).

2.6.4. Clasificación del material combustible

Soares (2000) clasifica a los combustibles de tipo forestal tomando en cuenta su peso, tamaño, periodo de descomposición, localización, sin embargo, es la categorización más utilizada de acuerdo con su tiempo de retardo, el cual según de Camargos *et al.* (2015), es el tiempo que demora cualquier tipo de combustible vegetal muerto en un lapso de tiempo no determinado en ganar o perder, dos terceras partes de su contenido desde el punto de la humedad inicial y su contenido de humedad final de equilibrio con relación al ambiente.

Se puede definir también que entre más grande el combustible sea, ganará o perderá la infiltración o humedad más lentamente, poseerá un mayor período de retardo. Con esta representación el diámetro implantará el tiempo de retardo de un combustible (Martínez, Rodríguez, Borja, & Rodríguez, 2018).

Tabla 1
Timelag para las distintas clases de combustibles muertos

Clases	Diámetro (cm)	Timelag (horas)
I	< 0,7	1
II	0,7 - 2,5	10
III	2,6 - 7,6	100
IV	> 7,6	1000

3. Materiales y Métodos

3.1. Caracterización del Área Experimental

El trabajo se realizó en una plantación de *Eucalyptus* sp. ubicada en el Cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1). El clima predominante de Santa Ana es tropical húmedo con las estaciones de invierno y verano bien diferenciadas, con una temperatura media de 26°C, el ambiente puede ser muy caluroso en la época invernal, pero en la estación de verano es fresco y agradable. El invierno y el verano están bien diferenciados por la marcada periodicidad de las lluvias; sin embargo, hay presencia de lluvias menores en el mes de junio y entre octubre y noviembre. La precipitación promedio oscila entre 500 y 1000 mm. La altitud del sitio es de 50 m.s.n.m. y la elevación máxima es de 400 m.s.n.m.

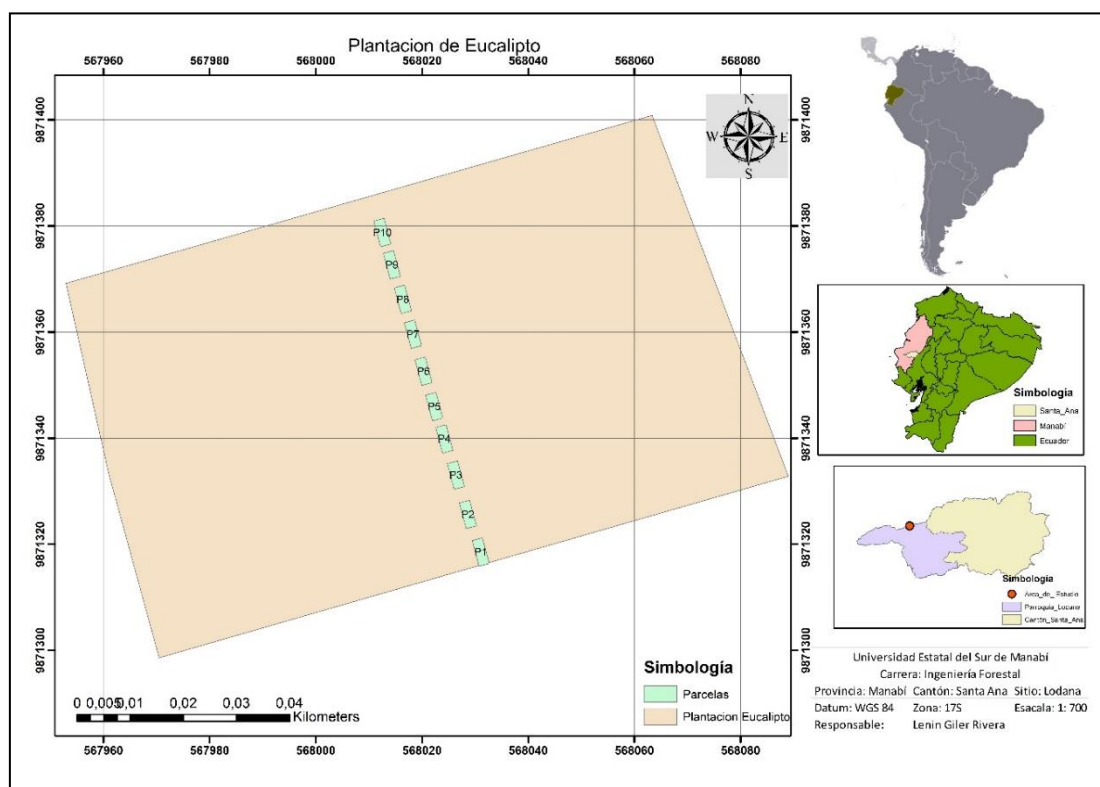


Figura 1. Ubicación del área experimental

La vegetación herbácea y arbustiva en el área objeto de estudio es poca, compuesta por hierbas y arbustos aislados de menos de un metro de altura. El estrato arbóreo está formado por individuos de *Eucalyptus* sp. de cinco años de edad con valores medios de diámetro a 1,30 m y de altura de 12,51 cm y de 13,31m, respectivamente, con una altura promedio de fuste sin ramas de 5,41 m. El modelo de combustible, de acuerdo con la

modelación Cuba 19 (Ramos *et al.*, 2012), es CHL2 que corresponde al grupo de Hojarasca con Combustibles Leñosos (HCL). En este modelo el fuego se propaga por una capa de hojarasca compacta de especies de latifolias, con presencia continua de combustible leñoso o herbáceo muerto. La profundidad del complejo hojarasca-restos es mayor a 15 cm. En este modelo es difícil la transición a copas.

3.2. Delimitación del Área Experimental y Colecta de Datos

Fueron delimitadas 10 parcelas de 2 x 5 m haciendo un área total de 100 m² en la que se aplicó una quema controlada utilizando la técnica de quema a favor del viento. No obstante, esta variable fue muy inestable mostrando cambios repentinos de dirección, comprobándose una vez más las dificultades que se presentan cuando se desarrollan estos experimentos en condiciones naturales. El terreno del lugar era llano. Las parcelas se ubicaron una a continuación de la otra entre las dos líneas de plantación centrales del rodal. Alrededor de cada parcela se construyó un cortafuego de 1 m de ancho para evitar que el fuego pasara al área externa del tratamiento (Figura 2). Para facilitar el inicio del fuego se colocaron fragmentos de papel periódico debajo del combustible situado en el extremo de la parcela por donde se inició el fuego.



Figura 2. Ubicación y delimitación de las parcelas de quema en el rodal de *Eucalyptus* sp.

La quema aplicada fue superficial y se realizó el 22 de enero de 2020, 19 días después de la última lluvia superior a 8 mm ocurrida en el área, la cual fue de 28 mm. El experimento se inició a las 10:38 horas con una duración de una hora y 46 minutos entre el inicio de la primera parcela y la extinción total de la última, con una variación del tiempo de quema entre las parcelas de 11 a 22 minutos.

Durante el desarrollo del experimento se realizaron en cada parcela tres mediciones de las variables temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Para esto se utilizó un medidor meteorológico digital tipo *ambient weather* WM-4. Las mediciones se hicieron a 0,50 m de altura del suelo y a una distancia tal del lugar que se estaba quemando que no llegara el calor desprendido por el fuego al instrumento. De esta forma se trató de registrar las condiciones ambientales que rodeaban el fuego.

3.3. Caracterización de los Combustibles

Para caracterizar el material combustible se obtuvieron informaciones sobre peso, espesura de la capa de combustible depositado sobre el suelo y contenido de humedad. La determinación del peso o cantidad de material combustible o materia seca, antes y después de la quema, se basó en el método destructivo propuesto por Brown *et al.* (1982) citados por Londe de Camargos *et al.* (2015). De acuerdo con esto en el centro de cada parcela se colectó una muestra de 2 500 cm² delimitada por un cuadro de madera de 50 x 50 cm, de cuyo interior se retiró todo el material. Después de la quema se colectó el material no carbonizado. El material colectado antes y después de la quema fue colocado en fundas de nailon y pesado con balanza de gancho de 0,01 g de precisión. Posteriormente se colocó en estufa a 100 °C durante 24 horas. La diferencia observada entre la cantidad de combustible seco antes (combustible total) y después de la quema (combustible residual) proporcionó la cantidad de material consumido por el fuego (combustible disponible). Con los mismos datos se determinó también la variable consumo de combustible (ConsC) utilizando la Ecuación 9 (Amaral *et al.*, 2014) modificada.

$$ConsC = \frac{m_{i\ comb} - m_{f\ comb}}{m_{i\ comb}} * 100 \quad (9)$$

Donde ConsC: Consumo de combustible (%); $m_{i\ comb}$: masa inicial de combustible seco (kg); $m_{f\ comb}$: masa residual de combustible seco (kg).

La espesura de la capa de combustible depositado sobre el suelo se determinó a través de tres mediciones realizadas en los extremos y en el centro de cada parcela. Después de la quema se midió nuevamente la espesura del material que no fue consumido (material residual). La diferencia entre la espesura de la capa antes y después de la quema permitió estimar la variable profundidad de la quema (PQ). La humedad de los combustibles el día de la quema fue determinada a través de la Ecuación 10 (Čekovská *et al.*, 2017).

$$w = \frac{m_w - m_o}{m_o} * 100 \quad (10)$$

Donde w : Contenido de humedad de la muestra (%); m_w : Peso húmedo de la muestra (kg); m_o : Peso de la muestra después del secado en la estufa (kg).

3.4. Evaluación de Parámetros del Comportamiento del Fuego

La evaluación del comportamiento del fuego durante el experimento se basó en la medición de los parámetros altura de las llamas, velocidad de propagación, intensidad lineal del fuego, altura de secado letal y calor liberado por unidad de área. La altura de las llamas se midió en cada parcela con una baliza graduada a 1; 2,5 y 4 m del extremo por donde se inició la quema, es decir, tres mediciones en cada parcela, mientras que la velocidad de propagación del fuego se calculó midiendo el tiempo utilizado por el fuego para recorrer los 5 m de cada parcela ($m.s^{-1}$) considerando esto cuando el 50 % de la línea de fuego llegó al final de la parcela.

La intensidad lineal del fuego, el calor desprendido por unidad de área y la altura de secado letal se estimaron a través de las Ecuaciones 4, 6 y 8, respectivamente.

El calor de combustión del material húmedo se calculó a través de la Ecuación 5. Se consideró un calor de combustión seco de $4\,000\text{ kcal.kg}^{-1}$ ($16\,720\text{ kJ.kg}^{-1}$), el cual utilizaron con fines similares a los de esta investigación Batista (1995) y Martínez (2006). El calor de combustión húmedo obtenido en cada parcela osciló entre $2\,637,71$ y $3\,620,57\text{ kcal.kg}^{-1}$ ($11\,043,62$ y $15\,158,66\text{ kJ.kg}^{-1}$). Batista *et al.* (2013), utilizaron en quemas experimentales en *Pinus elliottii* un valor medio de $H = 15\,490\text{ kJ.kg}^{-1}$ de acuerdo a determinaciones hechas por Soares y Hakkila (1987). Londe de Camargo *et al.* (2015), determinaron valores de poder calorífico seco entre $4\,093$ y $4\,623\text{ kcal.kg}^{-1}$ ($17\,136,63$ y $19\,355,65\text{ kJ.kg}^{-1}$) en un bosque estacional semidesiduo.

En la (Tabla 2) se presentan y describen las variables relacionadas con el material combustible, las condiciones meteorológicas y el comportamiento del fuego utilizadas en el experimento.

Tabla 2

VARIABLES UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO DE QUEMAS EXPERIMENTALES BAJO PLANTACIONES DE EUCALYPTUS SP. EN SANTA ANA, MANABÍ, ECUADOR

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Hll	Altura de las llamas	Cm
Vpf	Velocidad de propagación del fuego	m.s ⁻¹
I	Intensidad lineal del fuego	kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹
Hs	Altura de secado letal	M
Ha	Calor liberado por unidad de área	kcal.m ⁻²
T	Temperatura del aire	°C
Hr	Humedad relativa	%
Vv	Velocidad del viento	m.s ⁻¹
Dv	Dirección del viento	Grados
PcA	Peso del material combustible seco antes de la quema	kg.m ⁻²
PcD	Peso del material combustible seco después de la quema	kg.m ⁻²
PcC	Peso de material combustible consumido por el fuego	kg.m ⁻²
ConsC	Consumo de combustibles	%
EspA	Espesura de la capa de combustible antes de la quema	Cm
EspD	Espesura de la capa de combustible después de la quema	Cm
PQ	Profundidad de la quema	Cm
Hcom	Humedad de los combustibles el día de la quema	%

3.5. Correlación entre Variables

Para determinar la relación entre las variables analizadas se utilizaron los valores medios de las mismas correspondientes a cada parcela de quema. De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks se obtuvo que los valores de las variables dirección del viento, peso del material combustible seco después de la quema y consumo de combustibles no siguieron la distribución normal ($p < 0,05$), por lo que se determinó el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman, considerando una probabilidad de significación del 5 % como medida de la relación. La interpretación de los valores de la correlación fue hecha de acuerdo con la propuesta de Bisquerra (2004), la cual se muestra en la (Tabla 3).

Tabla 3

Interpretación de los valores de las correlaciones de Spearman

Valor de r	Interpretación
0,00	Nula
0,01 – 0,19	Muy baja
0,20 – 0,39	Baja
0,40 – 0,59	Moderada
0,60 – 0,79	Alta
0,80 – 0,99	Muy alta
1,00	Perfecta

4. Resultados

4.1. Condiciones Meteorológicas y Características de los Combustibles

Las condiciones meteorológicas relacionadas con el experimento de quema se muestran en la Tabla 4. Se observa poca variabilidad de los valores de las variables temperatura del aire, humedad relativa y dirección del viento, expresado esto en los bajos valores del coeficiente de variación. Este comportamiento fue diferente para el caso de la velocidad del viento.

Tabla 4
Condiciones meteorológicas el día de la quema en cada parcela experimental

Parcelas	T (°C)	Hr (%)	Vv (m.s⁻¹)	Dv (Grados)
1	32,70	53,83	0,27	225,33
2	30,57	58,70	0,47	179,33
3	32,30	56,10	0,23	180,00
4	32,67	55,50	0,40	170,00
5	32,40	55,50	0,70	178,00
6	33,27	55,10	0,40	173,33
7	31,97	56,73	0,13	179,00
8	32,07	56,30	0,10	175,67
9	31,87	57,07	0,30	175,33
10	33,23	54,47	0,03	178,67
Media	32,30	55,93	0,30	181,46
CV	0,0241	0,0248	0,6568	0,0867

Nota: T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; Dv: Dirección del viento; CV: Coeficiente de variación

La Tabla 5 muestra los valores referentes a las características del combustible antes y después de la quema. En sentido general el coeficiente de variación obtenido expresa poca variabilidad de los datos en todas las variables, excepto para el peso del material combustible seco después de la quema y peso del material combustible consumido por el fuego.

Tabla 5
Características del combustible antes y después de la quema en cada parcela

Parcelas	PcA (kg.m⁻²)	PcD (kg.m⁻²)	PcC (kg.m⁻²)	ConsC (%)	EspA (cm)	EspD (cm)	PQ (cm)	Hcom (%)
1	2,52	0,88	1,64	64,93	10,33	3,50	6,83	18,96
2	3,58	0,37	3,20	89,61	11,67	3,50	8,17	23,61
3	3,95	0,68	3,27	82,78	12,33	3,67	8,67	42,45
4	5,89	0,52	5,37	91,15	13,33	3,00	10,33	9,05
5	2,89	1,80	1,09	37,61	11,83	3,67	8,17	36,50
6	3,28	0,55	2,73	83,24	11,83	6,50	5,33	21,51
7	1,90	1,23	0,67	35,50	10,83	4,67	6,17	25,22
8	5,34	0,54	4,80	89,93	13,83	6,67	7,17	33,33
9	3,43	0,79	2,64	76,90	11,83	4,17	7,67	40,45
10	3,77	0,63	3,14	83,30	13,33	5,50	7,83	35,98
Media	3,66	0,80	2,86	73,5	12,11	4,49	7,63	28,71
CV	0,3299	0,5323	0,5209	0,2845	0,0922	0,2923	0,1815	0,3732

Nota: PcA: Peso del material combustible seco antes de la quema; PcD: Peso del material combustible seco después de la quema; PcC: Peso del material combustible consumido por el fuego; ConsC: Consumo de combustibles; EspA: Espesura de la capa de combustible antes de la quema; EspD: Espesura de la capa de combustible después de la quema; PQ: Profundidad de la quema; Hcom: Humedad de los combustibles el día de la quema; CV: Coeficiente de variación

4.2. Parámetros del Comportamiento del Fuego

Los valores obtenidos para los parámetros del comportamiento del fuego evaluados en el experimento de quemas se muestran en la Tabla 6. Las alturas de secado letal estimadas en cada parcela de quema muestran valores entre 3,39 y 11,10 metros, los cuales son inferiores a la altura promedio del fuste sin ramas, lo cual indica que el calor no afectará a las ramas inferiores de los árboles.

Tabla 6
Valores de los parámetros del comportamiento del fuego en cada parcela de quema

Parcelas	Hll	Vpf	I		hs	Ha
	(cm)	(m.s ⁻¹)	(kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	(kw.m ⁻¹)	(m)	(kcal.m ⁻²)
1	0,81	0,0076	62,50	261,43	6,94	8249,60
2	0,69	0,0076	84,70	354,32	7,85	11180,95
3	0,64	0,0104	108,40	453,45	9,88	10406,42
4	0,59	0,0060	126,87	530,72	11,10	21314,81
5	0,87	0,0083	66,81	279,48	7,02	8017,39
6	0,66	0,0083	87,10	364,34	8,82	10451,78
7	0,44	0,0038	22,17	92,74	3,39	5852,75
8	0,57	0,0049	74,79	312,85	7,65	15257,14
9	0,66	0,0056	51,16	214,01	5,89	9209,10
10	0,77	0,0060	62,54	261,61	7,09	10506,55
Media	0,67	0,0069	74,70	312,50	7,56	11044,65
CV	0,1864	0,2839	0,3937	0,3937	0,2811	0,3953

Nota: Hll: Altura de las llamas; Vpf: Velocidad de propagación del fuego; I: Intensidad lineal del fuego; hs: Altura de secado letal; Ha: Calor liberado por unidad de área; CV: Coeficiente de variación

4.3. Análisis de Correlación

La relación entre las características del comportamiento del fuego y su asociación con las propiedades de los combustibles y las condiciones meteorológicas se muestra en las Tablas 7 y 8. Se observa que las relaciones lineales significativas ($p < 0,05$) se manifestaron tanto entre variables del comportamiento del fuego como entre estas y las variables relacionadas con las características del combustible. No ocurriendo esto entre las variables del comportamiento y las variables meteorológicas. Las asociaciones entre la intensidad del fuego con la altura de secado letal y el calor desprendido por unidad de área fueron significativas ($p = 0,000$ y $0,029$, respectivamente). También entre la altura de secado letal y el calor desprendido por unidad de área fue significativa la asociación ($p = 0,013$).

El peso del material combustible consumido por el fuego mostró una asociación significativa con la intensidad del fuego ($p = 0,008$), la altura de secado letal ($p = 0,003$) y el calor desprendido por unidad de área ($p = 0,000$).

La no relación de la velocidad del viento con las variables del comportamiento del fuego puede explicarse por el comportamiento errático del mismo caracterizado por cambios continuos de dirección y de velocidad durante la quema de las parcelas. Esta es una de las dificultades verificadas normalmente cuando se realizan experimentos de quema en ambiente abierto.

Las variables peso del combustible antes de la quema, después de la quema y el consumo de combustibles, mostraron buena asociación con las variables intensidad del fuego, altura de secado letal y calor desprendido por unidad de área, con valores de significación entre 0,000 y 0,038.

En el caso de las variables que describen las características del combustible mostraron buena asociación el peso del material combustible consumido por el fuego con el peso del combustible antes de la quema ($p = 0,000$), peso del combustible después de la quema ($p = 0,002$), consumo de combustibles por el fuego ($p = 0,000$) y espesura de la cama de combustibles antes de la quema ($p = 0,013$). También fue buena la asociación entre las variables peso del combustible después de la quema con el consumo de combustibles ($p = 0,000$).

Tabla 7
Matriz de correlación (r) entre las variables utilizadas en los análisis

	Hll	Vpf	I	hs	Ha	T	Hr	Vv	Dv	PcC	PQ	Hc	PcA	PcD	Cc	EsA	EsD
Hll	1,000																
Vpf	0,543	1,000															
I	-0,128	0,550	1,000														
Hs	-0,152	0,502	0,988**	1,000													
Ha	-0,237	-0,067	0,685*	0,745*	1,000												
T	0,322	0,379	0,248	0,285	0,079	1,000											
Hr	-0,451	-0,356	-0,097	-0,128	0,043	-0,948**	1,000										
Vv	0,405	0,497	0,334	0,225	-0,043	-0,097	0,143	1,000									
Dv	0,280	0,239	-0,285	-0,273	-0,418	-0,188	-0,030	-0,231	1,000								
PcC	-0,340	0,061	0,782**	0,830**	0,927**	0,018	0,079	-0,109	-0,285	1,000							
PQ	0,110	0,307	0,553	0,535	0,395	-0,182	0,149	0,287	-0,012	0,547	1,000						
Hc	0,067	0,122	-0,212	-0,224	-0,321	-0,333	0,316	-0,225	0,176	-0,127	0,213	1,000					
PcA	-0,316	-0,006	0,697*	0,745*	0,879**	-0,006	0,097	-0,164	-0,358	0,964**	0,632*	0,055	1,000				
PcD	0,267	0,031	-0,661*	-0,721*	-0,939**	0,055	-0,201	-0,055	0,309	-0,842**	-0,280	0,394	-0,733*	1,000			
Cc	-0,237	-0,067	0,685*	0,745*	1,000**	0,079	0,043	-0,043	-0,418	0,927**	0,395	-0,321	0,879**	-0,939**	1,000		
EsA	-0,296	-0,099	0,499	0,542	0,689*	0,191	-0,071	-0,330	-0,517	0,745*	0,414	0,240	0,862**	-0,455	0,689*	1,000	
EsD	-0,281	-0,305	-0,262	-0,220	-0,030	0,140	-0,003	-0,544	-0,250	-0,104	-0,624	0,323	-0,049	0,061	-0,030	0,334	1,000

Nota: Hll: Altura de las llamas; Vpf: Velocidad de propagación del fuego; I: Intensidad lineal del fuego; hs: Altura de secado letal; Ha: Calor liberado por unidad de área; T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; Dv: Dirección del viento; PcC: Peso de material combustible consumido por el fuego; PQ: Profundidad de la quema; Hc: Humedad de los combustibles el día de la quema; PcA: Peso del combustibles antes de la quema; PcD: Peso del combustibles después de la quema; Cc: Consumo de combustible; EsA: Profundidad de la cama de combustibles antes de la quema; PcD: Profundidad de la cama de combustibles después de la quema

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Tabla 8
 Matriz de significancia de la asociación (*p*) entre las variables utilizadas en los análisis

	Hll	Vpf	I	hs	Ha	T	Hr	Vv	Dv	PcC	PQ	Hc	PcA	PcD	Cc	EsA	EsD
Hll	-																
Vpf	0,105																
I	0,725	0,099															
Hs	0,675	0,140	0,000														
Ha	0,510	0,853	0,029	0,013													
T	0,364	0,280	0,489	0,425	0,829												
Hr	0,191	0,313	0,789	0,725	0,907	0,000											
Vv	0,245	0,144	0,345	0,532	0,907	0,789	0,693										
Dv	0,434	0,507	0,425	0,446	0,229	0,603	0,934	0,521									
PcC	0,336	0,867	0,008	0,003	0,000	0,960	0,828	0,763	0,425								
PQ	0,763	0,389	0,097	0,111	0,258	0,614	0,680	0,422	0,973	0,102							
Hc	0,854	0,736	0,556	0,533	0,365	0,347	0,374	0,532	0,627	0,726	0,555						
PcA	0,374	0,987	0,025	0,013	0,001	0,987	0,789	0,650	0,310	0,000	0,050	0,881					
PcD	0,455	0,933	0,038	0,019	0,000	0,881	0,578	0,881	0,385	0,002	0,434	0,260	0,016				
Cc	0,510	0,853	0,029	0,013	-	0,829	0,907	0,907	0,229	0,000	0,258	0,365	0,001	0,000			
EsA	0,406	0,785	0,142	0,106	0,027	0,598	0,845	0,351	0,126	0,013	0,235	0,504	0,001	0,186	0,027		
EsD	0,431	0,392	0,464	0,542	0,933	0,699	0,993	0,104	0,486	0,776	0,054	0,362	0,894	0,867	0,933	0,345	-

Nota: Hll: Altura de las llamas; Vpf: Velocidad de propagación del fuego; I: Intensidad lineal del fuego; hs: Altura de secado letal; Ha: Calor liberado por unidad de área; T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; Dv: Dirección del viento; PcC: Peso de material combustible consumido por el fuego; PQ: Profundidad de la quema; Hc: Humedad de los combustibles el día de la quema; PcA: Peso del combustibles antes de la quema; PcD: Peso del combustibles después de la quema; Cc: Consumo de combustible; EsA: Profundidad de la cama de combustibles antes de la quema; PcD: Profundidad de la cama de combustibles después de la quema

Los análisis de regresión realizados (Figuras 3, 4 y 5), tanto entre las variables intensidad lineal del fuego y altura de secado letal, como entre el peso del combustible consumido por el fuego con la intensidad y la altura de secado letal muestran una relación positiva, pudiéndose utilizar las ecuaciones obtenidas para modificar el patrón de ignición en caso necesario.

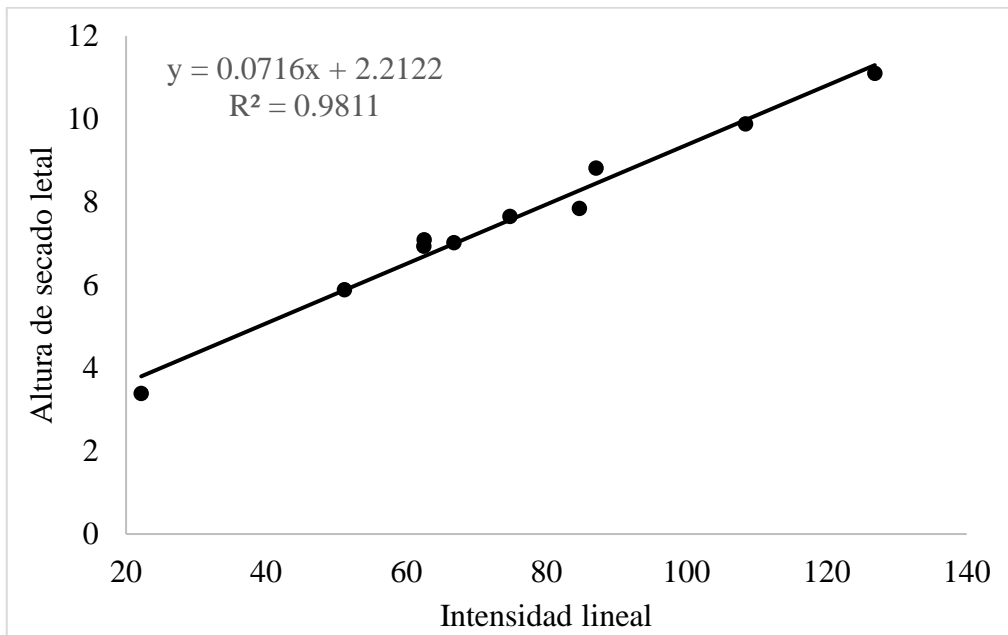


Figura 3. Análisis de regresión realizado entre la altura de secado letal y la intensidad lineal del fuego

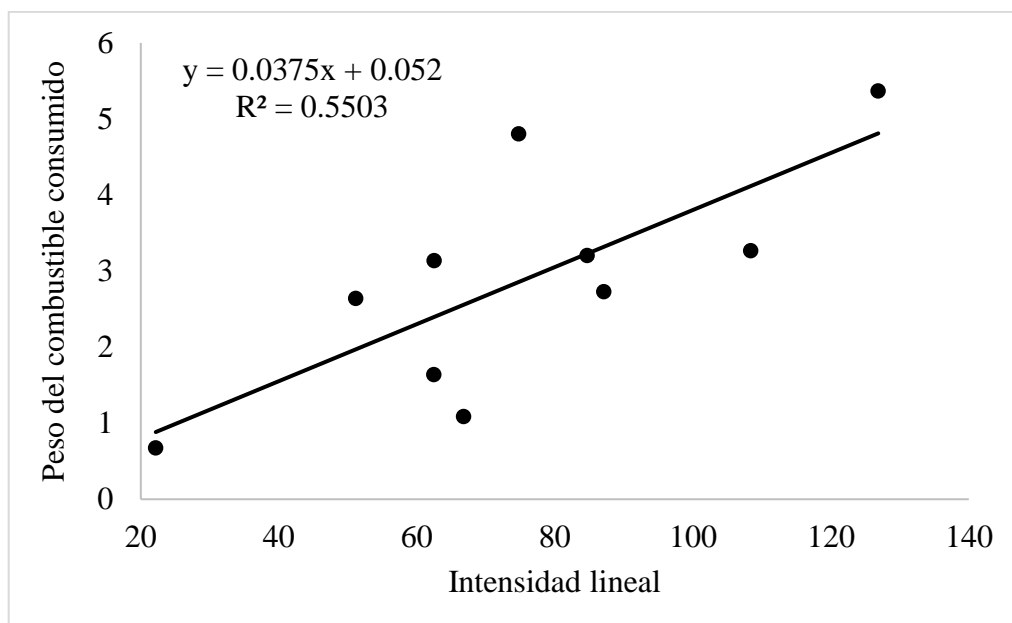


Figura 4. Análisis de regresión realizado entre el peso del combustible consumido y la intensidad lineal del fuego

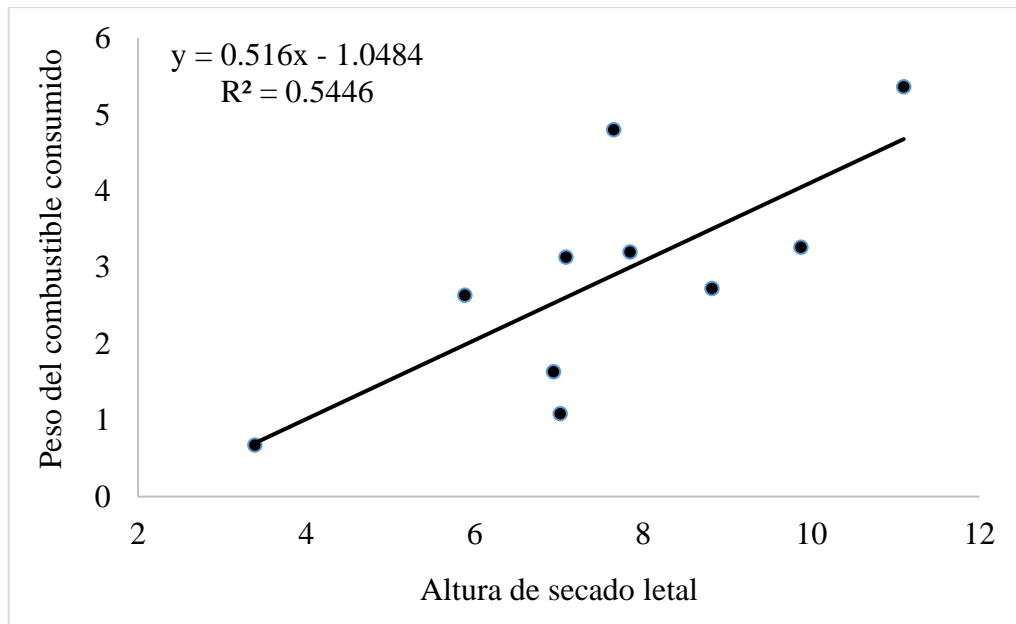


Figura 5. Análisis de regresión realizado entre el peso del combustible consumido y la altura de secado letal

5. Discusión

5.1. Condiciones Meteorológicas y Características de los Combustibles

Las condiciones meteorológicas relacionadas con el experimento de quema que se efectuó en el Cantón Jipijapa expuesto por Orlando (2018) sobre el comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de *Tectona grandis* Linn F. se observó poca inconsecuencia de los valores de las variables temperatura del aire y humedad relativa, expresado esto en los bajos valores del coeficiente de variación. Se mostró que en estos casos el comportamiento fue diferente para la velocidad y la dirección del viento. La muestra los valores referentes a las características del combustible mediante Fernandes *et al.*, (2011) sobre el combustible y peligro de incendio en la goma azul (*Eucalyptus globulus*) soporte en Portugal, se estableció que estos mismos rasgos fueron señalados antes y después de la quema. En sentido general el coeficiente de variación obtenido expresa poca variabilidad de los valores correspondientes a todas las variables en las diferentes parcelas experimentales.

5.2. Parámetros del Comportamiento del Fuego

Wade (1986), citado por De Ronde *et al.* (1990), describió niveles de intensidades asociados con el comportamiento del fuego para auxiliar los planes de quemas prescritas en poblaciones de *Pinus elliottii* en el sur de los EUA. Según estos autores existen dos niveles: el límite de óptima variación que estaría entre 17 y 60 kcal.m⁻¹. s⁻¹ y el máximo de intensidad de quema que no debe sobrepasar las 165 kcal.m⁻¹. s⁻¹. De acuerdo con esto el valor medio obtenido para este parámetro puede clasificarse en el rango óptimo.

Julio y Giroz (1975), realizaron diversos experimentos con quemas controladas en plantaciones de diferentes especies en Valdivia, Chile, variando la intensidad del fuego en estas quemas entre 77 y 289 kcal.m⁻¹.s⁻¹ para *Ulex* sp.; entre 18,5 y 42,4 kcal.m⁻¹.s⁻¹ en *Pinus radiata* mezclado con zarzamora; entre 155 y 447 kcal.m⁻¹.s⁻¹ en restos de explotación de *P. radiata* (8 meses) mezclado con murra. Por su parte, Kauffman y Martin (1989), obtuvieron valores de intensidades muy variables, desde 4,78 hasta 144,63 kcal.m⁻¹. s⁻¹ en plantaciones de *Pinus radiata* en Australia, mientras que Burrows *et al.* (1989), obtuvieron para la misma especie y país, intensidades del fuego entre 4,78 y 144 kcal.m⁻¹. s⁻¹. En plantaciones de *Pinus taeda*, Batista (1995), obtuvo

intensidades de fuego entre 2,88 y 25,22 kcal.m⁻¹. s⁻¹. En *Mimosa scabrella*, Grodzki (2000), obtuvo un valor medio de 384,08 kcal.m⁻¹. s⁻¹. Flores y Benavides (1994), reportaron valores de altura de la llama de 0,5 m para quemas en retroceso y hasta 5 m para quemas en avance para bosques de pinos en Jalisco. Por otra parte, Vega *et al.*, (2000), obtuvieron longitud de llama entre 0,30 a 1,50 metros en pinares de Andalucía y Galicia, en España.

Según Seger *et al.* (2013), varios investigadores han desarrollado modelos para estimar la intensidad del fuego mediante esa correlación (Byram, 1959, Bidwell; Engle, 1991, Batista; Soares, 1993, Beutling *et al.*, 2012).

5.3. Análisis de Correlación

En estudios realizados por Guillenmi 2007; Carvallo, 2010; Fernandes *et al.*, 2011; sobre estimaciones del comportamiento del fuego en quemas experimentales, obtuvieron las mayores correlaciones para el caso de las variables del comportamiento del fuego entre la altura de las llamas y la velocidad de propagación del fuego, seguida de la correlación entre la intensidad y la altura de las llamas. También obtuvieron alta correlación entre la intensidad lineal y las variables material consumido por el fuego y velocidad de propagación. De forma general se obtuvieron correlaciones significativas entre las variables del comportamiento del fuego, pero no entre estas y las que describen el material combustible y las condiciones meteorológicas. No obstante, Schimidtke, 2015; Ali *et al.*, 2018; Cerano-Paredes *et al.*, 2019 disertaron que las correlaciones fueron altas tanto entre la profundidad de la quema y la altura de secado letal como entre el peso del material combustible consumido por el fuego y el calor desprendido por unidad de área, resaltando así que tiene similitud con los datos obtenidos por medio de las variables ya expuestas.

6. Conclusiones

La realización del proyecto de investigación permitió llegar a las conclusiones siguientes:

- El análisis del comportamiento del fuego a escala experimental en plantaciones de *Eucalyptus* sp. tuvo las dificultades que imponen el ambiente natural abierto, fundamentalmente la influencia de las variables velocidad y dirección del viento. No obstante, se ha contribuido a la argumentación del uso del fuego en plantaciones de la especie objeto de estudio.
- La cuantificación de los valores obtenidos en los parámetros del comportamiento del fuego evaluados en el experimento de quemas, se observaron los valores medios para los parámetros altura media de las llamas, velocidad de propagación del fuego, intensidad lineal, altura de secado letal y calor desprendido por unidad de área.
- Los valores del comportamiento del fuego observados en esta investigación son importantes para fundamentar el uso del fuego en plantaciones de *Eucalyptus* sp.
- De forma general no se obtuvieron correlaciones significativas entre los parámetros de la velocidad del viento con las variables del comportamiento del fuego.

7. Recomendaciones

El trabajo realizado permite recomendar lo siguiente:

- Repetir la investigación en rodales de la misma especie en otros cantones y provincias de Ecuador utilizando una superficie experimental mayor.
- Planificar la ejecución de la quema para los meses de noviembre o diciembre, últimos meses del periodo seco en Ecuador.

8. Referencias Bibliográficas

- Amaral, S. S., de Carvalho Junior, J. A., Costa, M. A. M., Neto, T. G. S., Dellani, R., y Leite, L. H. S. Comparative study for hardwood and softwood forest biomass: chemical characterization, combustion phases and gas and particulate matter emissions. *Bioresource Technology*, 164, 55-63. 2014.
doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.060.
- Anchaluisa, S. & Suárez, E. (2013). Efectos del fuego sobre la estructura, microclima y funciones ecosistémicas de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*; Myrtaceae) en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 5(2).
- Ão, E., & Medidas, D. E. (2013). *Grandes Incêndios Florestais, Erosao, Degradação E Medidas De Recuperação Dos Solos*.
- Alvear, G. H. J. (2000). Selvicultura y quemas prescritas en las masas forestales de Chile. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 35-46.
- Batista, A. C., Beutling, A., & Pereira, J. F. (2013). Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. *Revista Arvore*, 37(5), 779–787. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500001>
- Becerra, L. M., Rodríguez, M. R., Martínez, I. C., Vichot, M. B., & Sospedra, R. S. (2004). Efectos de quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet, en Cuba. *Revista Chapingo. Serie Ciencias forestales y del ambiente*, 10(1), 31-35.
- Carvalho, G. O. (2010). Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales (2010). *Revista Chilena de Historia Natural*, 83(3).
- Castillo Soto, M., & Garfias Salinas, R. (2014). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, (58), 81. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201058818
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Diaz, J., Arreola-Avila, J. G., Sanchez-Cohen, I., Valdez-Cepeda, R. D., & Garcia, G. (2007). Climate Reconstruction and Historical

- Fire Regime in Cerro El Mohinora, Chihuahua, Mexico. In *AGU Spring Meeting Abstracts*.
- Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., & Z. Fulé, P. (2019). Reconstrucción De Incendios Y Su Relación Con El Clima Para La Reserva Cerro El Mohinora, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 63–74.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.654>
- Čekovská, H., Gaff, M., Osvaldová, L. M., Kačík, F., Kaplan, L., & Kubš, J. (2017). *Tectona grandis* Linn. and its fire characteristics affected by the thermal modification of wood. *BioResources*, 12(2), 2805-2817. 2017.
https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2017/03/BioRes_12_2_2805_Cekovska_Tectona_grandis_Fire_Charac_Affected_Thermal_Modific_Wood_11049.pdf.
- Cortés, L. R. G., Bejarano, J. S., & Mejía, L. Y. L. (2015). Restauración ecológica en plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* Labill y *Acacia melanoxylon* R. Br. *RIAA*, 6(2), 145-156.
- Countryman, C.M. (1977). The nature of heat. Portland: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 11 p.
- Cui, P., Font, M. T., & Fern, C. (2000). *Combustibles: Disminuir El Impacto*. 189–198.
- de Camargos, V. L., Ribeiro, G. A., da Silva, A. F., Martins, S. V., & da Silva Carmo, F. M. (2015). Estudo do comportamento do fogo em um trecho de floresta estacional semidecídua no município de Viçosa, Minas Gerais. *Ciencia Florestal*, 25(3), 537–545. <https://doi.org/10.5902/1980509819605>
- Díaz, E., González, M., Jiménez, B., Treviño, E., & Ávila, D. (2012). Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo en plantaciones forestales. *Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de Los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales*, 426–436.

- Fernandes, P. M., Loureiro, C., Palheiro, P., Vale-gonçalves, H., Fernandes, M. M., & Cruz, M. G. (2011). *Fuels and fire hazard in blue gum (Eucalyptus globulus) stands in portugal*. 53–61.
- Fernández, L. (2015). *Modelo matemático-numérico para simular la propagación de incendios forestales*. 1–84. (Master's thesis).
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/3017/TMIPICYTF4M62015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garnica, J. G. F., Carmona, J. X., & Durán, Á. (2010). Fire behavior monitoring of a prescribed burn in a pine-oak forest stand. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1), 49-59.
- Guzmán, A. (2012). *El uso del eucalipto en reforestaciones*. 1–6.
- Jadán, O., Toledo, C., Tepán, B., Cedillo, H., Peralta, Á., Zea, P., ... Vaca, C. (2017). Comunidades forestales en bosques secundarios alto-andinos (Azuay, Ecuador). *Bosque*, 38(1), 141–154. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000100015>
- Khouri, A., & Prendes, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 15(3), 262–270.
- Lara-Vasconez, N. X., & Guilcapi-Pacheco, E. D. (2019). Valoración cualitativa de una plantación de Eucalyptus globulus Labill en el sector de Licto, Riobamba, Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*. 4(4), 126–152.
<https://doi.org/10.4067/s0716-078x2010000300014>
- Liu, H., & Li, J. (2010). The Study of the Ecological Problems of Eucalyptus Plantation and Sustainable Development in Maoming Xiaoliang. *Journal of Sustainable Development*, 3(1), 197–201. <https://doi.org/10.5539/jsd.v3n1p197>
- Martínez Villa, J. L., Rodríguez-Trejo, D. A., Borja-de la Rosa, M. A., & Rodríguez Yam, G. A. (2018). Propiedades físicas y dinámica de los combustibles forestales en un bosque de encino. *Madera y Bosques*, 24(2), 1–14.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421467>

- Mendes, A. M. S. C. (2005). Silvicultura preventiva 1. *Revista Chilena de Historia Natural*.
- Montiel, C., & Kraus, D. (2010). Best Practices of Fire Use - Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions of Europe. In *Best Practices of Fire Use - Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions in Europe*.
- Morfin-Ríos, J. E., Jardel P., E. J., Alvarado C., E., & Michel-Fuentes, J. M. (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>
- Nyatondo, U. N. (2010). *Fire Spread Modelling in Majella National Park, Italy*. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC).
- Nutto, L., Vázquez, M. C. T., & Delgado, J. L. (2015). Producción de Madera de Calidad de Eucalipto La poda – Conocimientos. In *Bosque*.
- Ocampo-Zuleta, K., & Beltrán-Vargas, J. (2018). Dynamic modeling of forest fires in the eastern hills of Bogota, Colombia. *Madera Bosques*, 24(3), 1–20.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431662>
- Oliver, J. (2013). Evaluación de cinco procedencias de teca (*tectona grandis* linn f.) en la empresa seragroforest. cantón Santo Domingo, provincia de santo Domingo de los Tsáchilas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pico, O. G. (2018). Comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de *Tectona grandis* Linn F. En Jipijapa, Manabí, Ecuador. (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).
- Peni, D., & Serena, L. (2011). *Manual del Participante (MP)*. (051), 1–81.
- Rodríguez, M. P. R., & Rodríguez, R. G. (2010). Metodología Utilizada en Cuba para Estimar las Pérdidas Económicas Producidas por los Incendios Forestales.

- Remache, F. M. (2012). "Evaluación del efecto de microorganismos antagonistas en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E. F. Smith), presente en plantaciones de eucalipto tropical (*eucalyptus urograndis*) en la hacienda Los Ángeles, cantón Buena Fe, Provi. *Bosque*, (August), 32.
- Restrepo, C., & A. (2010). Tasa de descuento y rotación forestal el caso del *Eucalyptus Saligna*. *Lecturas de Economía, unknown* (73), 149–164.
- Rodríguez y Silva, F. (2004). Análisis económico aplicado al control de la carga de combustibles en ecosistemas forestales mediterráneos. Quemas prescritas, una alternativa frente a los medios mecánicos. *II Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de Los Programas de Protección Contra Incendios Forestales*, 19–22.
- Soto, M. C., & Salinas, R. G. (2014). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, (58), 81.
https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201058818
- Soares, R. V. (2000). *Uso del fuego prescrito en la gestión forestal en brasil*. 47–56.
- Soares, R.V.; Batista, A.C.; Tetto, A.F. (2017). Incêndios florestais: controle, efeito e uso do fogo. Curitiba: Universidade Federal do Parana, 255p.
- Terrén, D. M. (2000). Planes de quemas controladas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (9), 265-279.
- Rodríguez-Trejo, D. A., Martínez-Muñoz, P., Pulido-Luna, J. A., Martínez-Lara, P. J., Cruz-López, J. D. (2019). Instructivo de quemas prescritas para el manejo integral del fuego en el municipio de Villaflores y la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, USDA FS, US AID, BIOMASA, A. C., Universidad Autónoma Chapingo, Ayuntamiento de Villaflores, SEMARNAT, CONAFOR, CONANP, Gobierno del Estado de Chiapas, ANCF. México. 183 p.

Verdugo-Perona, J. J., Solaz-Portolés, J. J., & Sanjosé-López, V. (2017). El conocimiento didáctico del contenido en ciencias: estado de la cuestión. *Cadernos de pesquisa*, 47(164), 586-611.



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis-lenin-final-22-2-2020 MP.doc (D64284824)
Submitted: 2/23/2020 9:41:00 PM
Submitted By: nenegiler96@hotmail.com
Significance: 1 %

Sources included in the report:

Tesis Francisco - 26 de ABRIL 2015 MP.doc (D14146859)
https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Demarcacao-de-parcelas-para-montagem-do-experimento-Figura-1-Field-plot_fig1_274167250

Instances where selected sources appear:

7

UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ

Creada el 7 de Febrero del 2001, según Registro Oficial No. 261

FORMULARIO DE:**AUTORIZACIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL ENESUM**

Quien suscribe, **LENIN XAVIER GILER RIVERA** en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado "**COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN COMBUSTIBLES SUPERFICIALES DE UNA PLANTACIÓN DE EUCALYPTUS SP. EN SANTA ANA, MANABÍ, ECUADOR**" otorga a la Universidad Estatal del Sur de Manabí, de forma gratuita y no exclusiva los derechos de reproducción y distribución pública de la obra, constituye un trabajo de autoría propia.

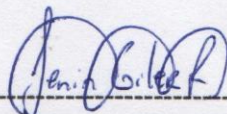
El autor declara que el contenido que se publicara es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Estatal del Sur de Manabí, se autoriza a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicaciones en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

El autor como titular de la autoría de la obra y en relación a la misma declara que la Universidad Estatal del Sur de Manabí se encuentra libre de toda responsabilidad sobre el contenido de la obra y que el asume toda la responsabilidad frente a cualquier reclamo o denuncia por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta autorización, se cede a la Universidad Estatal del Sur de Manabí el derecho exclusivo de archivar y publicar para ser consultado y citado por terceros, la obra mundialmente de formato electrónico y digital a través del Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se haga para obtener beneficios económicos.

Jipijapa 17 de Junio del 2020

Firma:



Lenin Xavier Giler Rivera
C.I. 1313082859