

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas

Effects of Meteorological and Fuel Variables on Fire Behavior in Agricultural Burning

Efeitos de variáveis meteorológicas e do combustível no comportamento do fogo em queimadas agrícolas

Marcos Pedro Ramos Rodríguez

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
marcos.ramos@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0992-8414>

Alexandra Claribel Mero Santana

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
95alexandra09@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-3707-8086>

DOI: <http://doi.org/10.15359/prne.23-45.10>

Fecha de recepción: 18/09/2024 • Fecha de aceptación: 31/3/2025 • Fecha de publicación: 30/06/2025

RESUMEN

El comportamiento del fuego depende de variables meteorológicas, del combustible y de la topografía. El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas en la parroquia Membrillal, Jipijapa, Manabí, Ecuador. La investigación se desarrolló a través de un diseño no experimental transversal. Se delimitaron 15 parcelas de 5 x 1,5 m sobre hileras de combustibles formados

ABSTRACT

Fire behavior depends on meteorological variables, fuel characteristics, and topography. This study aimed to analyze the effects of meteorological and fuel variables on fire behavior during agricultural burning in Membrillal parish, Jipijapa, Manabí, Ecuador. The research followed a non-experimental, cross-sectional design. Fifteen plots (5 × 1.5 m) were established on fuel rows composed of *Zea mays* L. residues and weeds. Five plots were burned during each work



por residuos de *Zea mays* L. y malezas. En cada sesión de trabajo (mañana, mediodía y tarde) se quemaron 5 parcelas. Se midieron variables meteorológicas, del combustible y del comportamiento del fuego, obteniéndose sus valores promedios para cada sesión de quema. Aunque las parcelas experimentales se quemaron a inicios de agosto, quemas tempranas, se consiguió la quema total de los combustibles. El alto valor del coeficiente de determinación obtenido para el análisis de regresión entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área sugiere que la ecuación resultante puede ser utilizada para modificar el patrón de quema a partir de disminuir el peso del material combustible por m^2 , lo cual puede lograrse aumentando el ancho de las hileras de combustible.

Palabras clave: gestión ambiental, manejo del fuego, quemas controladas, quemas tempranas, uso del fuego

session (morning, midday, and afternoon). Meteorological, fuel, and fire behavior variables were measured, and average values were obtained for each session.

Although the experimental burns were conducted in early August (early burning period), complete combustion of the fuel was achieved. The high coefficient of determination found in the regression analysis between the dry weight of the fuel and the heat released per unit area suggests that the resulting equation could be used to adjust the burning pattern by reducing fuel weight per m^2 —achievable by increasing the width of fuel rows.

Keywords: controlled burning, early burning, environmental management, fire management, use of fire

RESUMO

O comportamento do fogo depende de variáveis meteorológicas, das características do combustível e da topografia. Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos das variáveis meteorológicas e do combustível sobre o comportamento do fogo em queimadas agrícolas na paróquia de Membrillar, Jipijapa, Manabí, Equador. A pesquisa foi realizada com um delineamento transversal não experimental. Quinze parcelas de $5 \times 1,5$ m foram delimitadas em fileiras de combustível compostas por resíduos de *Zea mays* L. e plantas daninhas. Cinco parcelas foram queimadas em cada sessão de trabalho (manhã, meio-dia e tarde).

Foram medidas variáveis meteorológicas, do combustível e do comportamento do fogo,

sendo calculadas as médias para cada sessão. Apesar de as queimadas experimentais terem sido realizadas no início de agosto (período de queima precoce), foi alcançada a queima total do material combustível. O alto coeficiente de determinação obtido na análise de regressão entre o peso seco do combustível e o calor liberado por unidade de área sugere que a equação resultante pode ser utilizada para ajustar o padrão de queima, reduzindo o peso do combustível por m^2 —o que pode ser conseguido aumentando-se a largura das fileiras.

Palavras-chave: gestão ambiental, manejo do fogo, queima controlada, queima precoce, uso do fogo

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



INTRODUCCIÓN

Los pueblos indígenas y tradicionales de todo el mundo han utilizado el fuego para manipular su entorno a lo largo de miles de años. Estas prácticas de larga data aún continúan y tienen una importancia considerable para los administradores de tierras de la actualidad (Raish *et al.*, 2005). Sin embargo, durante las últimas décadas han aumentado en el mundo tanto el número de incendios forestales como las áreas quemadas. Entre las razones que han propiciado este comportamiento se encuentran el cambio climático, el aumento de la población y las políticas de manejo del fuego que no consideraron al fuego como un factor ecológico ni como elemento cultural. (Manrique-Toala *et al.*, 2022, p. 40).

Esperándose que los impactos variables del cambio climático redefinan la eficacia del uso del fuego como herramienta (Russell *et al.*, 2024). En este contexto, “el uso del fuego se reconoce cada vez más como un componente central de la gestión integrada de la tierra en lugares propensos a los incendios” (Carroll *et al.*, 2021, p. 399), siendo “el principal objetivo de la gestión ambiental conciliar las actividades humanas y el medio ambiente, a través de instrumentos que estimulen y viabilicen esa tarea, la cual presupone la modificación del comportamiento del hombre en relación con la naturaleza, debido a la actual situación de degradación de la naturaleza” (Huerta y García, 2009, p. 18).

Las quemadas controladas en la agricultura son prácticas de gestión utilizadas en diferentes tipos de vegetación y están muy extendidas y generalizadas en varios países. Sin embargo, para llevarlas a cabo de forma segura y eficiente es esencial conocer el comportamiento del fuego (Seeger *et al.*, 2013). Al respecto, Magalhães *et al.* (2017), mencionan que el análisis del comportamiento del fuego desempeña un papel fundamental en el proceso decisional de las operaciones de gestión, en especial en la ejecución de quemadas controladas y en la formulación de estrategias preventivas y de combate contra incendios. La comprensión detallada de las dinámicas y variables involucradas en el fenómeno del fuego proporciona información crucial para optimizar la eficacia de las intervenciones contribuyendo así a la protección de ecosistemas, bienes y vidas. Según Ramos Rodríguez *et al.*, (2024), el comportamiento del fuego puede definirse como la manera según la cual se manifiestan variables tales como velocidad de propagación, intensidad, calor

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemadas agrícolas
 Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



liberado por unidad de área, tiempo de residencia y longitud de las llamas, durante el desarrollo de la combustión como respuesta a las características del combustible, de la topografía y de las condiciones meteorológicas. (p. 5).

Existen muchas investigaciones previas sobre la temática del comportamiento del fuego en quemas controladas o prescritas en diferentes tipos de combustibles, por lo general, en vegetación forestal. En otros tipos de vegetación pueden mencionarse las realizadas en vegetación de Estepa Gramíneo-Leñosa en el estado de Paraná, Brasil (Seger *et al.*, 2013); en un pastizal y una sabana artificiales en Chiapas, México (Rodríguez-Trejo, *et al.*, 2020); en cultivos de trigo (Cruz *et al.*, 2020); en el páramo andino del sur de Ecuador (Carrión-Paladines *et al.*, 2023) y, más recientemente, en tierras de vocación forestal (Ramos Rodríguez, Acosta Tufiño *et al.*, 2024 y Ramos-Rodríguez, Tigua-Parrales *et al.*, 2024) donde el combustible ha sido residuos de cosechas de *Z. mays* y malezas. Sin embargo, es necesario continuar argumentando los efectos de las variables meteorológicas y del combustible en el comportamiento del fuego durante el desarrollo de quemas agrícolas para limpieza de terrenos, lo cual puede contribuir a la fundamentación científica de la toma de decisiones respecto a la regulación del uso del fuego en la agricultura.

En atención a lo descrito anteriormente el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de analizar los efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas en la parroquia Membrillal, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

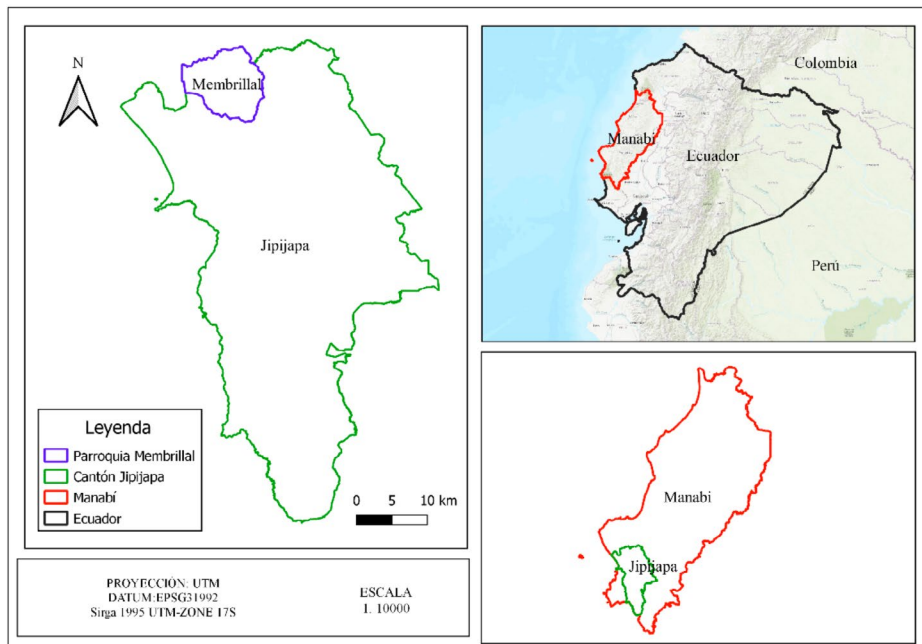
MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en tierras agrícolas dedicadas al cultivo de *Zea mays* L. (maíz) en la parroquia Membrillal, cantón Jipijapa, ubicada al sur de la provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1). De acuerdo con el **Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Membrillal (2020)**, la cabecera parroquial está ubicada en las coordenadas geográficas 1° 15' 0" S y 80° 37' 0" O, limitando al norte con el cantón Montecristi; al sur con el cantón Jipijapa y la parroquia Puerto Cayo; al este con el cantón Jipijapa; y al oeste con la parroquia Puerto Cayo. Los cultivos más comunes son *Zea mays* L. (maíz) y

Phaseolus vulgaris L. (frijol). Los suelos de Membrillal se encuentran en áreas planas o poco onduladas, en pendientes de 50 a 70 % y también entre 70 y 100 %. Los tipos de suelos existentes en la parroquia son arenosos, arcillosos, arenoso arcilloso y limoso arcilloso, mientras que el clima es tropical seco.

Figura 1
Ubicación del área de estudio



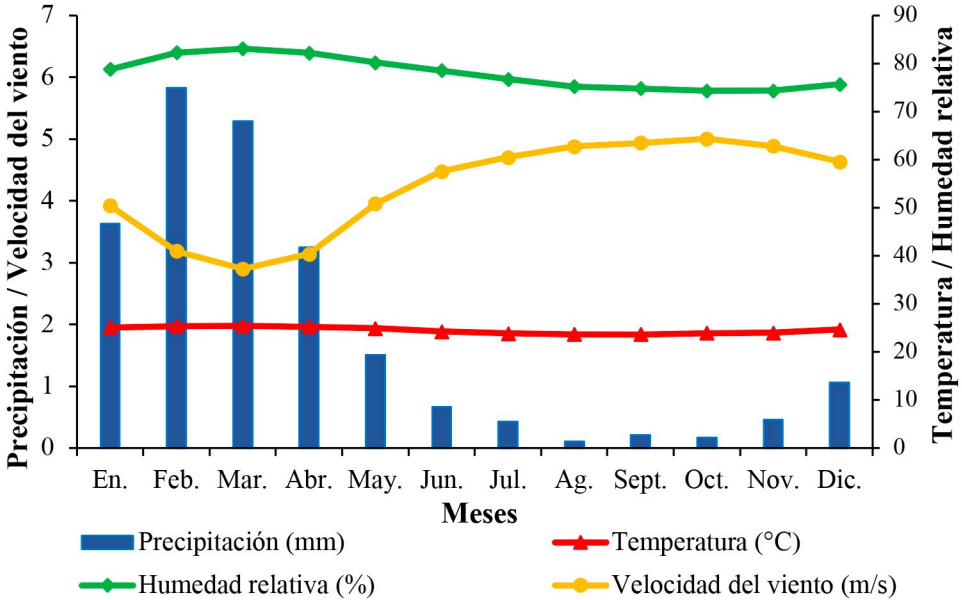
Nota. Elaborado por José Enrique Reyes Chancay (2025).

De acuerdo con datos obtenidos del Proyecto POWER (*Prediction Of Worldwide Energy Resources*) del Centro de Investigación Langley de la NASA para el punto central del área donde se realizó el experimento (latitud -1.202259 y longitud -80.686690), durante el periodo 1981-2022 en Membrillal los valores medios mensuales de la temperatura del aire oscilaron entre $23,65$ y $25,43$ °C; los de la humedad relativa entre $74,35$ y $83,10$ %; mientras que los de la velocidad del viento oscilaron entre $2,90$ y $5,01$ $m.s^{-1}$; y los de la precipitación entre $0,10$ y $5,83$ mm. Los meses con menos precipitaciones, temperatura del aire y humedad relativa fueron agosto, septiembre y octubre,

periodo en el que se registraron los mayores valores medios mensuales de la velocidad del viento (Figura 2).

Figura 2

Climograma con valores mensuales generados con datos meteorológicos de la NASA (periodo: 1981-2022)



Nota. Elaboración propia (2025), con datos meteorológicos de la NASA.

De acuerdo con una investigación realizada por *Tayron-Manrique et al. (2022)*, en Mambrillar y Sancán, dos localidades del cantón Jipijapa, la mayoría de las personas encuestadas dijeron que hacen uso del fuego todo el año, principalmente durante los meses de noviembre y diciembre, prefiriendo quemar por la mañana; queman todos los años los mismos lugares, siendo los fines principales del uso del fuego la limpieza del terreno de los residuos de las cosechas y para sembrar cultivos agrícolas. Los autores del trabajo no encontraron asociación estadísticamente significativa entre los lugares que queman y la frecuencia del uso del fuego, así como entre la renta familiar con el área promedio que queman y con la utilización o no del fuego.

Delimitación del área experimental

La investigación se desarrolló a través de un diseño no experimental transversal en un área de terreno plano. La quema de las parcelas se realizó el 8 de agosto de 2023. Considerando que en la parroquia Membrillar los campesinos queman, por lo general, los residuos de la cosecha de *Z. mays* y la maleza que los acompaña apilados en hilera o rollos, se delimitaron 15 parcelas de 5 m de largo ubicadas una a continuación de la otra, sobre dichas hileras de desechos o combustibles con un ancho promedio de 1,15 m (Figura 3). Para la quema se dividió el número total de parcelas entre las 3 sesiones en que los agricultores queman: mañana (09:43 a 11:05 horas), mediodía (12:14 a 13:18 horas) y tarde (14:05 a 15:03 horas).

Figura 3

Hileras o rollos de combustible utilizadas para la investigación en Membrillar



Nota. Fotografía tomada por los autores (2024).

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.
Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

Caracterización de variables meteorológicas y del combustible

La caracterización de las variables meteorológicas se realizó a partir de mediciones de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento durante el desarrollo de la investigación, para lo cual se utilizó un medidor meteorológico de bolsillo marca *Ambient weather* WM-4 de fabricación China. Se realizaron 3 mediciones: al iniciar la quema, en la mitad de la parcela y al final de ella. Estas mediciones se realizaron a 0,50 m de altura del suelo y a una distancia de la parcela a la cual no llegara el calor desprendido por la combustión.

La caracterización de las variables del material combustible se basó en informaciones sobre peso, espesura de la capa de combustible depositado sobre el suelo y contenido de humedad. La determinación del peso, cantidad de material combustible o materia seca antes de la quema, se realizó con el método destructivo propuesto por *Cruz et al. (2020)*, colectándose en el centro de cada una de las parcelas ubicadas en las hileras de combustibles una muestra de miscelánea y tallos de 2 500 cm² delimitada por un cuadro de madera de 50 x 50 cm, de cuyo interior se retiró todo el material. En todos los casos el material fue separado en: (a) miscelánea (materiales no leñosos muertos tales como hojas, humus y frutos); y (b) los tallos de las plantas de maíz (pancas) y de malezas con diámetros superiores a 0,7 cm. El material colectado en cada parcela fue pesado con balanza de gancho de 0,01 g de precisión, tomándose del mismo una muestra de 80 g la cual se colocó en fundas de nailon de cierre hermético para ser trasladadas al Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, donde se colocaron muestras de 50 g en estufa a 75 °C por 48 horas, siguiendo a *Seger et al. (2013 y 2016)*.

La espesura de la capa de combustible depositado sobre el suelo se determinó con un flexómetro, para lo cual se hicieron 3 mediciones: una en el centro de la parcela y una en cada uno de los extremos de esta. La humedad de los combustibles fue estimada con la Ecuación 1 (*Čekovská et al., 2017*).

$$W = \frac{m_w - m_o}{m_o} * 100 \quad (1)$$

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).

Estimación de parámetros del comportamiento del fuego

La estimación de los parámetros del comportamiento del fuego se basó en la medición de la altura de las llamas (m), velocidad de propagación del fuego ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), intensidad lineal del fuego ($\text{kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), altura de secado letal (m) y calor liberado por unidad de área ($\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}$). 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 iniciaba la quema; es decir, 3 mediciones en cada parcela. La velocidad de propagación del fuego se calculó midiendo el tiempo utilizado por el fuego para recorrer cada parcela considerando esto cuando el 50 % de la línea de fuego llegaba al final de la parcela. La quema siempre se inició a favor del viento.

La intensidad lineal del fuego la altura de secado letal y el calor desprendido por unidad de área se estimaron según se citó en a través de las Ecuaciones 2 (Byram, 1959), 3 (Wagner, 1973) y 4 Soares et al. (2017).

$$I = H * w * r \quad (2)$$

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

$$Ha = \frac{I}{r} \quad (4)$$

Donde: I = intensidad lineal del fuego en $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; H = calor de combustión en $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\pm 4000 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$); w = peso del combustible disponible en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; r = velocidad de propagación del fuego en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; h_s = altura de secado letal en m; V = velocidad el viento en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; T = temperatura del aire en °C; Ha = calor liberado por unidad de área en $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}$. La constante 60, asociada a la temperatura del aire, representa aproximadamente la temperatura letal para el follaje de los árboles.

El calor de combustión del material húmedo se calculó a través de la Ecuación 5 (Soares et al., 2017). Se utilizó un calor de combustión seco de $16\ 720 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($4000 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$) el cual utilizaron Ramos Rodríguez et al. (2018) y Ramos et al. (2019), estando en el intervalo de las determinaciones hechas por Camargos et al. (2015), quienes obtuvieron valores de poder calorífico seco entre $17\ 136,63 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $19\ 355,65 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($4093 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $4623 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$) en un bosque estacional semideciduo. Fidelis et al. (2010) utilizaron en pastizales subtropicales un valor de $15\ 500 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



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

Donde: Hw = Calor de combustión del material húmedo en kcal.kg⁻¹; Hd = Calor de combustión del material seco en kcal.kg⁻¹; U = contenido de humedad del material combustible en %.

Procesamiento estadístico

El procesamiento de los datos se realizó con el SPSS *Statistics for Windows* (Versión 22.0) (IBM Corp. 2013) trabajándose con un nivel de significancia de 0,05 (p = 0,05). Para verificar el ajuste de cada variable a la distribución normal se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks y la homogeneidad de la varianza con el estadístico de Levene. La diferencia entre los valores medios obtenidos para cada variable en cada sesión de quema (mañana, mediodía y tarde) se verificó con un análisis de varianza (ANOVA) cuando los datos se ajustaron a la distribución normal y con la prueba de Kruskal-Wallis cuando no se cumplió esta condición. La comparación de medias se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey para el ANOVA y con la de Dunn para la prueba de Kruskal-Wallis.

La determinación de la relación entre las variables utilizadas en el experimento se realizó con los valores medios correspondientes a cada una de las 15 parcelas de quema. Cuando las variables no cumplieron el supuesto de normalidad se determinó el coeficiente de correlación no paramétrica de Spearman y cuando ocurrió lo contrario, el coeficiente de correlación de Pearson. En ambos casos se consideró una probabilidad de significación del 5 % como medida de la relación. La interpretación de la magnitud de la correlación se realizó de acuerdo con la propuesta de Bisquerra Alzina (2009) para la correlación de Spearman y la sugerencia de Cohen para el caso de la correlación de Pearson.

RESULTADOS

Variables meteorológicas y del combustible

Durante el desarrollo de la quema controlada de las parcelas ubicadas en las hileras de combustible en la parroquia Membrillar, los valores medios de las variables meteorológicas temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento fueron de 28,03 °C, 66,50 % y 1,10 m.s⁻¹, respectivamente. No obstante, al considerar las medias para cada sesión de quema, de acuerdo

con el ANOVA, se obtuvo diferencia estadísticamente significativa para la temperatura del aire ($F = 17,504$; $p = 2,77 \times 10^{-4}$), la humedad relativa ($F = 11,110$; $p = 0,02$) y la velocidad del viento ($F = 3,961$; $p = 0,048$). En el caso de las variables del combustible no hubo diferencia entre las medias para el peso seco del material combustible ($F = 1,945$; $p = 0,186$) ni para la espesura del material ($F = 2,052$; $p = 0,171$), mientras que, según la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, fueron diferentes las medias del contenido de humedad del material combustible ($\chi^2 = 8,340$; $p = 0,015$) (Tabla 1). La mayor dispersión de los datos con respecto a la media se obtuvo para el caso de la humedad relativa y para la humedad de los combustibles.

Tabla 1

Variables meteorológicas y del combustible el día de la quema en cada parcela

Sesión	Parcelas	Variables meteorológicas			Variables del combustible		
		T (°C)	Hr (%)	Vv (m.s ⁻¹)	PsA (kg.m ⁻²)	EspA (cm)	Hc (%)
Mañana	1	30,47	61,77	0,50	3,23	35,67	24,90
	2	29,20	62,80	1,03	2,90	25,00	23,09
	3	29,63	59,57	1,17	4,55	36,33	14,21
	4	28,57	66,30	0,90	5,06	33,50	23,11
	5	29,47	63,73	0,77	2,00	40,33	21,54
	Media	29,47 a	62,83 a	0,87 a	3,55 a	34,17 a	21,37 a
	± ds	0,69	2,48	0,26	1,25	5,69	4,18
Mediodía	6	28,00	66,70	0,87	2,67	35,67	12,44
	7	27,90	66,37	0,60	3,08	25,00	10,25
	8	26,53	71,20	1,57	3,24	36,33	11,02
	9	26,73	70,57	1,37	2,98	33,50	21,48
	10	26,73	70,17	0,87	2,16	30,33	10,89
	Media	27,18 b	69,00 b	1,06 ab	2,83 a	32,17 a	13,22 b
	± ds	0,71	2,28	0,40	0,43	4,64	4,69
Tarde	11	28,40	65,20	1,37	2,52	28,33	11,25
	12	27,53	66,70	1,50	2,69	27,00	11,34
	13	27,23	69,03	1,50	3,03	29,67	12,10
	14	27,33	68,27	1,13	2,44	31,00	14,68
	15	26,77	69,13	1,40	2,49	27,33	12,58
	Media	27,45 b	67,67 b	1,38 b	2,63 a	28,67 a	12,39 b
	± ds	0,60	1,69	0,15	0,24	1,67	1,39

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. a-b medias de cada variable con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$). Pruebas de Kruskal-Wallis para Hc y ANOVA para el resto de las variables. T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; PsA: Peso seco del material combustible antes de la quema; EspA: Espesura de la capa de combustible antes de la quema; Hc: Humedad de los combustibles; ± ds: Desviación estándar.

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Comportamiento del fuego

Los valores medios obtenidos durante la quema de las parcelas fueron, de forma general, para la altura de las llamas 1,07 m, velocidad de propagación del fuego 0,0156 m.s⁻¹, intensidad lineal 157,19 kcal.m⁻¹.s⁻¹, altura de secado letal 10,35 m y calor liberado por unidad de área de 10 139,73 kcal.m⁻². Cabe destacar que la altura de secado letal estimada en cada parcela de quema estuvo entre 7,11 y 16,99 m (parcelas 6 y 7) asociado esto a los valores obtenidos para la intensidad lineal. La comparación de medias para las 3 sesiones permitió establecer, a través del ANOVA, diferencia entre las medias para el caso de la altura de las llamas (F = 6,454; p = 0,013), mientras que, no fueron estadísticamente diferentes las medias de la intensidad lineal (F = 0,057; p = 0,945) y el calor liberado por unidad de área (F = 0,911; p = 0,428). Según la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis tampoco fueron diferentes las medias de las variables velocidad de propagación ($\chi^2 = 4,240$; p = 0,120) y altura de secado letal ($\chi^2 = 1,820$; p = 0,403) (Tabla 2). La mayor dispersión de los datos, respecto a la media, se obtuvo para las variables intensidad lineal del fuego y calor liberado por unidad de área.

Tabla 2

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

Sesión	Parcelas	Hll (m)	Vpf (m.s ⁻¹)	I		hs (m)	Ha (kcal.m ⁻²)
				(kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	(kw.m ⁻¹)		
Mañana	1	1,50	0,0139	138,45	579,16	10,87	9968,61
	2	0,95	0,0139	126,38	528,66	9,47	9099,44
	3	0,98	0,0119	185,98	777,96	12,44	15622,20
	4	1,35	0,0139	220,71	923,27	13,78	15891,42
	5	1,22	0,0167	106,15	444,05	8,67	6369,17
	Media	1,20 a	0,0141 a	155,53 a	650,62 a	11,05 a	11390,17 a
	± ds	0,24	0,0017	46,79	195,71	2,10	4202,68
Mediodía	6	1,13	0,0093	86,33	361,14	7,11	9324,08
	7	1,15	0,0278	306,26	1281,13	16,99	11025,48
	8	1,18	0,0139	159,77	668,34	9,57	11503,64
	9	1,08	0,0119	113,33	474,06	7,71	9519,53
	10	1,22	0,0119	91,50	382,77	7,12	7686,42
	Media	1,15 a	0,0150 a	151,44 a	633,49 a	9,70 a	9811,83 a
	± ds	0,05	0,0074	91,27	381,81	4,20	1514,59

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Sesión	Parcelas	Hll (m)	Vpf (m.s ⁻¹)	I		hs (m)	Ha (kcal.m ⁻²)
				(kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	(kw.m ⁻¹)		
Tarde	11	0,92	0,0208	185,50	775,97	11,67	8904,03
	12	0,68	0,0139	132,26	553,27	8,65	9523,05
	13	0,87	0,0208	221,61	927,01	12,60	10637,28
	14	0,92	0,0167	139,06	581,69	9,45	8343,45
	15	0,98	0,0167	144,64	605,03	9,20	8678,20
	Media	0,87 b	0,0178 a	164,61 a	688,59 a	10,31 a	9217,20 a
± ds	0,12	0,0030	38,02	159,06	1,72	903,08	

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. a-b medias de cada variable con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$). Pruebas de Kruskal-Wallis para Vpf y hs y ANOVA para el resto de las variables. 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; \pm ds: Desviación estándar.

Correlación entre variables

Entre las variables meteorológicas y del combustible se obtuvo relación significativa solo entre la temperatura del aire y la humedad del combustible ($r = 0,574$; $p = 0,025$) (Tabla 3) pudiéndose clasificar como moderada. Entre las variables meteorológicas y del comportamiento del fuego se obtuvo relación significativa entre la velocidad del viento y la altura de las llamas ($r = -0,708$; $p = 0,003$) (Tabla 4), clasificándose de fuerte.

Tabla 3

Correlación de Pearson (P) o de Spearman (S) entre variables meteorológicas y del combustible

Variables	r	p
Temperatura – Peso seco del combustible (S)	0,198	0,478
Temperatura – Espesura del combustible (P)	0,308	0,264
Temperatura – Humedad del combustible (S)	0,574*	0,025
Humedad relativa – Peso seco del combustible (S)	-0,202	0,470
Humedad relativa – Espesura del combustible (P)	-0,176	0,531
Humedad relativa – Humedad del combustible (S)	-0,479	0,071
Velocidad del viento – Peso seco del combustible (S)	0,102	0,717
Velocidad del viento – Espesura del combustible (P)	-0,193	0,492
Velocidad del viento – Humedad del combustible (S)	-0,299	0,279

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas). * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Tabla 4

Correlación de Pearson (P) o de Spearman (S) entre variables meteorológicas y del comportamiento del fuego

Variab les	r	p
Temperatura – Altura de las llamas (P)	0,357	0,192
Temperatura – Velocidad de propagación (S)	0,013	0,964
Temperatura – Intensidad lineal (P)	0,046	0,871
Temperatura – Altura de secado letal (P)	0,271	0,329
Temperatura – Calor liberado por unidad de área (S)	0,125	0,657
Humedad relativa – Altura de las llamas (P)	-0,124	0,660
Humedad relativa – Velocidad de propagación (S)	-0,070	0,805
Humedad relativa – Intensidad lineal (P)	-0,090	0,749
Humedad relativa – Altura de secado letal (P)	-0,296	0,285
Humedad relativa – Calor liberado por unidad de área (S)	-0,132	0,638
Velocidad del viento – Altura de las llamas (P)	-0,708**	0,003
Velocidad del viento – Velocidad de propagación (S)	0,077	0,784
Velocidad del viento – Intensidad lineal (P)	-0,053	0,850
Velocidad del viento – Altura de secado letal (P)	-0,224	0,422
Velocidad del viento – Calor liberado por unidad de área (S)	0,175	0,532

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas). * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Entre las variables del combustible y del comportamiento del fuego las correlaciones fueron significativas para el peso seco del combustible con el calor liberado por unidad de área ($r = 0,971$; $p = 0,000$), con la altura de secado letal ($r = 0,657$; $p = 0,008$) y con la intensidad lineal ($r = 0,600$; $p = 0,018$), así como, entre espesura del combustible y altura de las llamas ($r = 0,531$; $p = 0,042$) (Tabla 5), pudiéndose clasificar la primera relación como muy alta, la segunda y la tercera moderadas y la cuarta muy fuerte.

Tabla 5

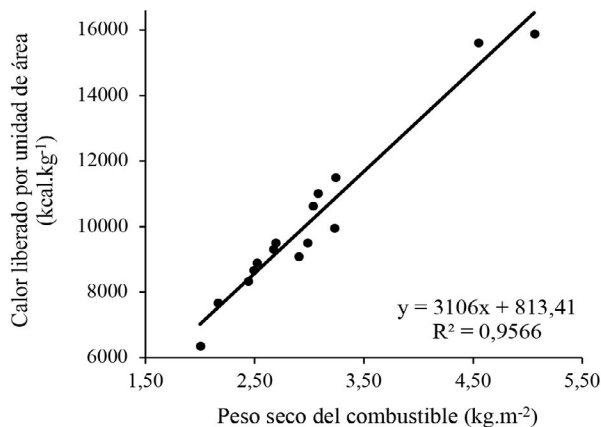
Correlación de Pearson (P) o de Spearman (S) entre las variables del combustible y del comportamiento del fuego

Variables	r	p
Peso seco del combustible – Altura de las llamas (S)	0,209	0,454
Peso seco del combustible – Velocidad de propagación (S)	-0,141	0,616
Peso seco del combustible – Intensidad lineal (S)	0,600*	0,018
Peso seco del combustible – Altura de secado letal (S)	0,657**	0,008
Peso seco del combustible – Calor liberado por unidad de área (S)	0,971**	0,000
Espesura del combustible – Altura de las llamas (P)	0,531*	0,042
Espesura del combustible – Velocidad de propagación (S)	-0,432	0,107
Espesura del combustible – Intensidad lineal (P)	-0,355	0,195
Espesura del combustible – Altura de secado letal (P)	-0,266	0,339
Espesura del combustible – Calor liberado por unidad de área (S)	0,116	0,679
Humedad del combustible – Altura de las llamas (S)	0,256	0,357
Humedad del combustible – Velocidad de propagación (S)	-0,209	0,455
Humedad del combustible – Intensidad lineal (S)	-0,193	0,491
Humedad del combustible – Altura de secado letal (S)	0,014	0,960
Humedad del combustible – Calor liberado por unidad de área (S)	0,004	0,990

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas). * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Figura 4

Análisis de regresión entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área



Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación.

El análisis de regresión realizado para el peso seco del combustible con el calor liberado por unidad de área (Figura 4) mostró una relación positiva y el mayor valor de coeficiente de determinación obtenido para análisis similares realizados con las variables mejor correlacionadas.

Entre las variables del comportamiento del fuego se obtuvo correlación moderada entre la intensidad lineal y el calor liberado por

unidad de área ($r = 0,650$; $p = 0,009$) y entre la altura de secado letal y el calor liberado por unidad de área ($r = 0,650$; $p = 0,009$), siendo la relación muy alta entre la intensidad lineal y la altura de secado letal ($r = 0,971$; $p = 0,000$) (Tabla 6).

Tabla 6

Correlación de Pearson (P) o de Spearman (S) entre variables del comportamiento del fuego

Variables	r	p
Altura de las llamas – Velocidad de propagación (S)	-0,280	0,311
Altura de las llamas – Intensidad lineal (P)	-0,016	0,955
Altura de las llamas – Altura de secado letal (P)	0,107	0,705
Altura de las llamas – Calor liberado por unidad de área (S)	0,120	0,670
Velocidad de propagación – Intensidad lineal (S)	0,603*	0,017
Velocidad de propagación – Altura de secado letal (S)	0,565*	0,028
Velocidad de propagación – Calor liberado por unidad de área (S)	-0,095	0,735
Intensidad lineal – Altura de secado letal (P)	0,971**	0,000
Intensidad lineal – Calor liberado por unidad de área (S)	0,650**	0,009
Altura de secado letal – Calor liberado por unidad de área (S)	0,650**	0,009

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de la investigación. ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas). * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

DISCUSIÓN

En esta investigación el día de la quema los valores medios de temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento fueron de 28,03 °C; 66,50 % y 1,10 m.s⁻¹, respectivamente. Algunos de estos valores coinciden con los reportados por otros investigadores, aunque, en sentido general, son bastante diversos. En el caso de las variables del combustible los valores medios obtenidos en este trabajo para el peso del combustible, su espesura y humedad fueron de 3,00 kg.m⁻²; 31,66 cm y 15,65 %, respectivamente, los cuales son similares, usualmente, a los reportados para investigaciones realizadas, al igual que esta, en desechos de *Z. mays* y malezas, difiriendo de los reportados en investigaciones realizadas en otros tipos de vegetación (Tabla 7).

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Tabla 7

Valores medios de variables meteorológicas y del combustible reportados en investigaciones previas sobre comportamiento del fuego

Tipo de vegetación / Autores	Variables meteorológicas			Variables del combustible		
	T (°C)	Hr (%)	Vv (m.s ⁻¹)	PsA (kg.m ⁻²)	EspA (cm)	Hc (%)
Estepa Gramíneo-Leñosa / <i>Segeer et al. (2013)</i>	21,20	63,66	2,91	2,26	-	50,45
Cultivos de trigo (sin cosechar) / <i>Cruz et al. (2020)</i>	29,90	21,60	5,63	0,53	73,00	7,80
Cultivos de trigo (cosechado) / <i>Cruz et al. (2020)</i>	30,80	20,60	6,14	0,21	29,00	7,30
Páramo andino / <i>Carrión-Paladines et al. (2023)</i>	15,60	72,60	8,90	17,90	-	23,30
Desechos de <i>Z. mays</i> / <i>Ramos-Rodríguez et al. (2024)</i>	29,38	55,09	0,75	1,45	29,00	12,08
Desechos de <i>Z. mays</i> / <i>Ramos-Rodríguez et al. (2024)</i>	28,20	72,03	0,40	2,49	35,93	13,05

Nota. Elaboración propia (2024), con datos de los autores que se citan en la tabla. T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; PsA: Peso seco del material combustible antes de la quema; EspA: Espesura de la capa de combustible antes de la quema; Hc: Humedad de los combustibles; ± ds: Desviación estándar.

Las variables meteorológicas, caracterizadas por su gran dinamismo, tienen un impacto significativo en el comportamiento del fuego. Según [Pazmiño \(2019\)](#), esas variables contribuyen para que existan condiciones propicias para la ocurrencia de incendios forestales. De acuerdo con [Torres et al. \(2020\)](#), la baja humedad relativa y la alta temperatura favorecen el poder evaporativo de las plantas, lo que hace que se vuelvan más secas y más susceptibles a la combustión. La reducción de las precipitaciones puede disminuir la humedad del suelo y los combustibles muertos y vivos para crear más material disponible para los incendios. Los vientos también pueden desempeñar un papel en la propagación de los incendios al alimentarlos y dirigirlos. De igual forma, el material combustible, de acuerdo con [Soares et al. \(2017\)](#), “es básico e indispensable para la ocurrencia y la propagación de los incendios forestales” (p. 46). “La cantidad de material combustible determina si el fuego se va o no a propagar y define la cantidad de calor liberado por el fuego durante el incendio” (p. 47).

En esta investigación se obtuvo que, en la sesión de quema de la mañana los valores medios de temperatura del aire fueron mayores en comparación con el mediodía y la tarde, ocurriendo lo contrario para la humedad relativa. Sin embargo, la humedad del combustible fue mayor en la mañana que al mediodía

y la tarde. También, durante la quema de las parcelas, en la sesión de la mañana, los valores medios de altura de las llamas, altura de secado letal y calor liberado por unidad de área, fueron mayores, ocurriendo lo contrario para el caso de la velocidad de propagación del fuego, resultados que deben tenerse en cuenta para la toma de decisiones respecto al uso del fuego. Es importante destacar que las parcelas se quemaron a inicios de la temporada de incendios, la cual, de acuerdo con Ramos-Rodríguez y Reyes-Chancay (2022), se presenta en el cantón Jipijapa de agosto a diciembre, periodo en el que, según las estadísticas de 2010 a 2021, ocurrió el 84,47 % del total de incendios, con un máximo en octubre (21,91 %), seguido de noviembre (20,32 %). Coincidentemente, según Manrique-Toala *et al.* (2022) en el cantón Jipijapa, considerando información de dos localidades, una de ellas Membrillal, los agricultores usan el fuego para limpieza de terreno, principalmente en noviembre y diciembre, con frecuencias relativas de 52,5 y 33,0 %, respectivamente, siguiendo octubre con el 6,9 %.

Wade y Lunsford (1989), para bosques con pastizales del sur de Estados Unidos, recomiendan llevar a cabo las quemas prescritas con una humedad relativa de 30,0 a 55,0 %, bajo condiciones especiales entre 20-60 %. Estos autores señalan que dichas quemas son peligrosas con una humedad relativa menor al 30,0 % por la producción de pavesas, mientras que si la humedad relativa supera el 60,0 % dejará espacios sin quemar, por lo que no consumirá todo el combustible y, a la vez, no se alcanzará el objetivo de la quema. También Casillo *et al.* (2013), recomiendan que “para conducir una quema controlada la humedad ambiente sea mayor del 30 %, por debajo el combustible fino se quema fácil y ruidosamente (crepita), produciendo pavesas u hojas encendidas que se propagan con el viento y generan nuevos focos” (p. 7), señalando además, que “la temperatura del aire acelera la combustión del fuego, y su comportamiento es muy peligroso cuando es superior a los 30 °C” (p. 7). En este trabajo las parcelas se quemaron con valores de humedad relativa entre 59,57 y 71,20 %; es decir, próximo al máximo recomendado por los autores citados anteriormente y por encima de este. No obstante, el fuego eliminó todo el combustible. Iguales resultados fueron documentados para desechos de *Z. mays* y herbáceas por Ramos Rodríguez *et al.* (2024) en quemas experimentales realizadas con valores de humedad relativa entre 49,07 y 57,83 % y por Ramos Rodríguez *et al.* (2024), con un valor medio de $72,3 \pm 4,80$ %. Los resultados indican que este tipo de material combustible puede ser quemado con mayor humedad relativa que los pastizales de bosques del sur de Estados Unidos, lo cual favorece la idea de implementar que el uso del fuego se

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
 Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



realice en las primeras horas de la mañana o en las últimas de la tarde, horarios en que la humedad relativa debe ser mayor y menor la temperatura del aire, así como, implementar las quemas tempranas, a saber, antes de la temporada de incendios. También, en horas de la mañana el combustible, según se ha reportado en este trabajo, debe tener más contenido de humedad y, en consecuencia, la velocidad de propagación del fuego debe ser menor, lo cual facilitaría su combate en caso de que se saliera de control. Al respecto de las quemas tempranas *Awuah et al. (2022)*, sugieren que la quema, a principios de temporada, representa un riesgo bajo de pérdida física de carbono, al mismo tiempo que mantiene un paisaje heterogéneo de mosaico de áreas que brinda múltiples funciones ecosistémicas y beneficios de servicios para las sabanas. Por su parte, *Rodríguez-Trejo et al. (2020)*, recomiendan, para zonas de mucha pendiente, hacer las quemas controladas y las prescritas de pastizales en contra, con temperatura del aire de hasta 28,0 °C y humedad relativa de 50,0 % o más y mayor a este valor en pastos más altos, así como quemas tempranas (de noviembre a febrero).

La velocidad promedio del viento durante las quemas en la parroquia Membrillal fue de 0,5 a 1,57 m.s⁻¹, valores superiores al mínimo y al máximo de 0,42 y 1,38 m.s⁻¹ recomendados por *Wade y Lunsford (1989)*, pero bien por debajo del valor indicado por *Casillo et al. (2013)*, quienes afirman que, para conducir una quema controlada, el viento no debe superar los 8,33 m.s⁻¹, por encima de cuyo valor la situación puede resultar inmanejable. Puede señalarse que en esta investigación no se encontró relación entre la velocidad del viento y la velocidad de propagación, quizás porque la velocidad del viento fue baja y tuvo poca variación. Resultado similar fue reportado por *Ramos Rodríguez et al. (2024)* en quemas controladas del mismo tipo de combustible descrito en este estudio. Cabe señalar que, aunque no existió diferencia significativa entre los valores medios de la velocidad de propagación del fuego obtenidos para las sesiones de trabajo, matemáticamente fue mayor el valor en la sesión de la tarde, horario en el que también, fue mayor la velocidad del viento, mostrando diferencia significativa con el valor de la sesión de la mañana. Asimismo, debe considerarse que en horas de la mañana se reportó el mayor valor de humedad de los combustibles. De acuerdo con *Bianchi et al. (2014)*, “el contenido de humedad del combustible juega un rol fundamental ya que su magnitud influirá en la probabilidad de ignición, en el posterior comportamiento del fuego y en el impacto que éste tendrá sobre el ecosistema afectado” (p. 154).

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



Considerando los datos de las 15 parcelas, en el caso de las variables meteorológicas y del combustible, solo se obtuvo relación significativa al nivel de 0,05 entre temperatura del aire y humedad del combustible, mientras que entre las variables meteorológicas y del comportamiento del fuego se obtuvo relación significativa al nivel de 0,01 entre velocidad del viento y altura de las llamas. Entre las variables del combustible y del comportamiento del fuego la relación fue altamente significativa (0,01) entre peso seco del combustible con la altura de secado letal y con el calor liberado por unidad de área, siendo significativa al nivel de 0,05 para peso seco del combustible e intensidad lineal del fuego y entre espesura del combustible y altura de las llamas. Entre las variables del comportamiento del fuego fue significativa la relación al nivel de 0,01 para la intensidad lineal del fuego con la altura de secado letal y con el calor liberado por unidad de área, así como entre la altura de secado letal y el calor liberado por unidad de área. También, se obtuvieron relaciones significativas al nivel del 0,05 para velocidad de propagación con intensidad lineal y con altura de secado letal. Ramos Rodríguez *et al.* (2024), en una investigación similar y con el mismo tipo de combustible, reportaron relaciones significativas entre el peso seco del combustible y la altura de secado letal, lo cual coincide con lo obtenido en esta investigación, no ocurriendo lo mismo para el caso de la relación obtenida por dichos autores entre espesura y calor liberado por unidad de área, quienes además, reportaron una relación altamente significativa para la espesura con la intensidad lineal y con la altura de secado letal, lo cual no coincide con lo reportado en esta investigación, como tampoco coincide la alta relación entre la altura de la llama y la carga o cantidad de material combustible reportada por Souza *et al.* (2023), trabajando con combustibles forestales del cerrado.

En este estudio la mejor ecuación de regresión ($R^2 = 0,9566$) se obtuvo entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área, resultado que constituye un aporte significativo para los decisores en el ámbito del manejo del fuego, ya que dicha ecuación puede ser utilizada para modificar el patrón de quema en caso de ser necesario. Puede destacarse que al modificar el peso seco del combustible también se estaría modificando la intensidad lineal y la altura de secado letal, debido a que existe una correlación moderada ($r = 0,650^{**}$) entre cada una de estas variables con el calor liberado por unidad de área. Si el peso del combustible es menor, también lo será el calor liberado por unidad de área y, a la vez, según los resultados obtenidos en este trabajo, serán menores la intensidad lineal del fuego y la altura de secado letal. Una opción para

disminuir el peso del material combustible por m² puede ser aumentar el ancho de las hileras de combustible, con la consiguiente disminución de su espesura. En esta investigación el ancho medio de las hileras de combustibles fue de 1,15 m y su espesura de 31,67 cm, con un peso seco medio de 3,00 kg.m⁻². Ramos Rodríguez *et al.* (2024) reportaron, en un trabajo similar, un ancho medio de las parcelas de 1,18 m, una espesura de 29,0 cm y un peso seco del combustible de 1,45 kg.m⁻², mientras que, en parcelas con combustibles sin apilar el peso seco medio fue de 0,90 kg.m⁻², reportando, para estas parcelas, menores valores para los parámetros del comportamiento del fuego. Estos autores también reportaron una alta correlación ($r = 1,000$) entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área. Resultados similares obtuvieron en quemas de residuos de *Z. mays* y malezas, Ramos Rodríguez *et al.* (2024), quienes reportaron ancho medio de las parcelas de 1,10 m, grosor o espesura de la capa de combustible de 35,93 cm y peso de 2,49 kg.m⁻². Ellos también obtuvieron mayores valores para los parámetros del comportamiento del fuego en las parcelas ubicadas en las hileras que, en las parcelas de combustible disperso, en las que el peso seco del mismo fue de 0,99 kg.m⁻². Durante experimentos de quema en plantaciones de trigo sin cosechar y cosechado Cruz *et al.* (2020), reportaron, para estas dos condiciones, un peso del material combustible de 0,53 y 0,21 kg.m⁻², respectivamente, así como mayores valores medios para los parámetros velocidad de propagación, intensidad lineal y altura de la llama, para el caso de la primera condición.

El uso del fuego en la agricultura debe regularse y, en tal sentido, una de las acciones que también puede hacerse es indicar a los agricultores en qué momento del día sería preferible que ellos quemen, para cumplir con su objetivo de eliminar todo el combustible y, a la vez, afectar lo menos posible al suelo y al medio ambiente, en general. Ese momento será cuando los valores de los parámetros del comportamiento del fuego sean menores a lo largo del día. De acuerdo con Ramos Rodríguez y Molina Terrén (2023), la percepción que tienen los productores que fueron encuestados sobre los efectos causados por el fuego en la provincia de Manabí, Ecuador, varía entre las localidades. En la parroquia Ayacucho dicha percepción puede calificarse de pobre o escasa. Tal es así que el 40,0 % de los encuestados no saben si este fenómeno causa efectos sobre el suelo y el 22,7 % dice que no causa efectos. Similar situación ocurre en el caso de los efectos sobre el medio ambiente en general, interrogante ante la cual el 42,0 % dijo no saber y el 54,0 % dijo que sí causa

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
 Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



efectos negativos. Tampoco es buena la percepción en Membrillal y Sancán, cantón Jipijapa, donde el 27,1 % de los encuestados no saben si este fenómeno causa efectos sobre el suelo y el 13,5 % dice que no causa efectos. Además, el 18,2 % no sabe si el fuego afecta al medio ambiente en general y el 9,4 % afirmó que no lo afecta. Sin embargo, en la parroquia Convento la percepción es muy alta. Tal es así que el 100,0 % de los encuestados señaló que el fuego causa efectos negativos al suelo y al medio ambiente. (pp. 30-31).

CONCLUSIONES

La investigación realizada sobre los efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas de residuos de *Z. mays* y malezas en Membrillal, cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador, aporta informaciones importantes para los decisores involucrados en las actividades de manejo del fuego. Los resultados confirman que en la localidad es posible usar el fuego a inicios de agosto para eliminación de los combustibles descritos en este trabajo. Con estas quemas tempranas, cuya severidad sería baja, se puede conseguir la eliminación de los combustibles, a la vez que, serían menores los efectos provocados por el fuego al suelo y al medio ambiente en general.

En términos generales se obtuvieron pocas correlaciones significativas entre las variables utilizadas en el experimento. No obstante, el coeficiente de determinación obtenido para el análisis de regresión entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área sugiere que la ecuación resultante puede ser utilizada para modificar el patrón de quema cuando esto sea necesario. Al modificar el peso seco del combustible también se estaría modificando la intensidad lineal y la altura de secado letal, debido a la correlación existente entre ambas variables. Entonces la clave sería disminuir el peso del material combustible por m², lo cual puede lograrse aumentando el ancho de las hileras de combustible.

RECOMENDACIONES

Compartir los resultados obtenidos a través de capacitaciones tanto en la parroquia Membrillal como en otras de la provincia de Manabí, dada su importancia para utilizar el fuego de forma controlada, minimizando su

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



impacto sobre el suelo y el medio ambiente. Además, se recomienda realizar investigaciones similares, pero considerando, tanto los combustibles apilados en las hileras que hoy día hacen los agricultores, como probar con hileras de mayor ancho, y con combustibles dispersos en toda el área o en pilas distribuidas por el terreno a limpiar. Para obtener datos más robustos se sugiere quemar un mayor número de parcelas en cada sesión, comenzando en la mañana, a las 07:00 horas y terminando a las 19:00 horas, así como antes y durante la temporada de incendios. En el proceso de recolección de datos en campo, es crucial mantener la mayor precisión posible para evitar errores en los resultados. Las autoridades involucradas en las actividades de manejo del fuego deben contar con la fundamentación científica pertinente para indicar a los agricultores, con precisión, cuándo y cómo pueden quemar para conseguir su objetivo de limpiar el terreno causando el menor daño posible al suelo y al medio ambiente en general, a la vez, que se evitan incendios forestales en épocas en que el clima favorece su propagación y severidad, lo cual dificulta su combate.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los ingenieros Tayron Omar Manrique Toala, Kerly Monserrate Briones Carreño y Joel Alexis Zambrano Muñoz por su valiosa colaboración durante el trabajo de campo. Asimismo, agradecen al señor Néstor Reyes por permitir la realización del estudio en su propiedad y por su apoyo en el establecimiento de las parcelas.

REFERENCIAS

- Awuah, J., Smith, S. W., Speed, J. D. M. y Graae, B. J. (2022). Can seasonal fire management reduce the risk of carbon loss from wildfires in a protected Guinea savanna? *Ecosphere*, 13(11), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4283>
- Bianchi, L. O., Defossé, G. E., Dentoni, M., Kunst, C., Ledesma, R. y Bravo, S. (2014). Dinámica de la humedad de los combustibles y su relación con la ecología y el manejo de fuego en la región chaqueña occidental (Argentina) I: conceptos básicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(2), 154-164. <https://www.scielo.org.ar/pdf/ria/v40n2/v40n2a08.pdf>
- Bisquerra Alzina, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa* (Segunda ed). La Muralla, S.A. <https://acortar.link/buR1K8>

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. In: K.P. Davis (ed.). *Forest fire: control and use*. New York: McGraw-Hill: 61–123. <https://n9.cl/2c0y4>
- Camargos, V. L. de, Ribeiro, G. A., Silva, A. F. da, Martins, S. V. y Carmo, F. M. D. S. (2015). Estudio do comportamento do fogo em um trecho de floresta estacional semidecídua no município de Viçosa, Minas Gerais. *Ciência Florestal*, 25(3), 537-545. <https://doi.org/10.5902/1980509819605>
- Carrión-Paladines, V., Fries, A., Hinojosa, M. B., Oña, A., Jiménez Álvarez, L., Benítez, Á., López Rodríguez, F. y García-Ruiz, R. (2023). Effects of Low-Severity Fire on Soil Physico-Chemical Properties in an Andean Páramo in Southern Ecuador. *Fire*, 6(447), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fire6120447>
- Carroll, M. S., Edgeley, C. M. y Nugent, C. (2021). Traditional use of field burning in Ireland: History, culture and contemporary practice in the uplands. *International Journal of Wildland Fire*, 30(6), 399-409. <https://doi.org/10.1071/WF20127>
- Casillo, J., Di Giacomo, A. G. y Marino, G. D. (2013). *Quemas controladas en pastizales: una herramienta para el manejo de pastizales con fines productivos y conservacionistas*. Buenos Aires, Argentina. <https://acortar.link/uFrm8c>
- Čekovská, H., Gaff, M., Osvaldová, L. M., Kačík, F., Kaplan, L. y Kubš, J. (2017). Tectona grandis Linn. and its fire characteristics affected by the thermal modification of wood. *BioResources*, 12(2), 2805-2817. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.2805-2817>
- Cruz, M. G., Hurley, R. J., Bessell, R. y Sullivan, A. L. (2020). Fire behaviour in wheat crops-effect of fuel structure on rate of fire spread. *International Journal of Wildland Fire*, 29(3), 258-271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/WF19139>
- Fidelis, A., Delgado-Cartay, M. D., Blanco, C. C., Müller, S. C., Pillar, V. D. y Pfadenhauer, J. (2010). Fire Intensity and Severity in Brazilian Campos Grasslands. *Interciencia*, 35(10), 739-745. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/81785>
- Gobierno Autonomo Descentralizado Parroquial Rural Membrillal. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Membrillal*. <https://n9.cl/17fbr>
- Huerta, E. y García, J. (2009). Estrategias de gestión ambiental: Una perspectiva de las organizaciones modernas. *Clío América*, 3(5), 15-30. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5114810>
- IBM Corp. (2013). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. IBM Corp., Armonk, NY: IBM Corp.

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



- Magalhães, S. R. de, Ribeiro, C. A. A. S., Azevedo, J. C. M. de, Ferreira, J. M. C. dos S., Fernandes, P. A. M., Silva, C. A. R. L. da y Pinheiro, H. M. P. (2017). Comportamento do fogo em diferentes períodos e configurações de uma paisagem no nordeste de Portugal. *Ciencia Florestal*, 27(2), 457-469. <https://doi.org/10.5902/1980509827728>
- Manrique-Toala, T., Ramos-Rodríguez, M., Cruz-Rosales, G. de la, Tigua-Pinela, Y. y Pincay-Ortega, S. (2022). Uso del fuego en tierras de vocación forestal del cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(2), 40-51. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/1600>
- NASA. (2025). The Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). <https://power.larc.nasa.gov/>
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 10-18. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>
- Raish, C., González-Cabán, A. y Condie, C. J. (2005). The importance of traditional fire use and management practices for contemporary land managers in the American southwest. *Environmental Hazards*, 6(2), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2005.10.004>
- Ramos, M., Pico, O., Jiménez, A., Cantos, C., Tapia, M. y Mero, O. (2019). Comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de *Tectona grandis* L. f. en Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Brasileirade Ciencias Agrarias*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5607>
- Ramos Rodríguez, M. P., Acosta Tufiño, J. M., Vivar González, J. C., Manrique Toala, T. O. y Jiménez González, A. (2024). Comportamiento del fuego en quemas controladas en tierras de vocación forestal en Sancán, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 12(1), 2-21. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/831>
- Ramos Rodríguez, M. P., Albán Ventura, D. O., Jimenez González, A., Mero Jalca, O. F. y Ganchozo Quimis, M. T. (2018). Planificación de una quema prescrita en una plantación de *Tectona grandis* Linn F. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(2), 184-194. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6606772>
- Ramos Rodríguez, M. P. y Molina Terrén, D. M. (2023). Usos tradicionales del fuego en localidades de Manabí, Ecuador. *Revista Incendios y Riesgos Naturales*, 9, 29-31. <https://revistarirn.org/wp-content/uploads/2023/04/maqueta-RIyRN-9-media.pdf>
- Ramos-Rodríguez, M. P. y Reyes-Chancay, J. E. (2022). Programa de comunicación orientado a la prevención de los incendios forestales en Jipijapa, Manabí, Ecuador. In *Open Science Research VI* (pp. 288-311). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/220910301>

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana



- Ramos-Rodríguez, M. P., Tigua-Parrales, M. J., Baque-Ramos, J. B., Manrique-Toala, T. O. y Castro-Landín, A. L. (2024). Efectos del fuego sobre características físicas, químicas y nutricionales del suelo en tierras de vocación forestal. *Madera y Bosques*, 30(1), 1-17. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3012509>
- Rodríguez-Trejo, D. A., Martínez-Muñoz, P., Pulido-Luna, J. A., Martínez-Lara, P. J. y Cruz-López, J. D. (2020). Combustibles, comportamiento del fuego y emisiones en un pastizal y una sabana artificiales en Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 641-654. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.33954>
- Russell, A., Fontana, N., Hoecker, T., Kamanu, A., Majumder, R., Stephens, J., Young, A. M., Cravens, A. E., Giardina, C., Hiers, K., Littell, J. y Terando, A. (2024). A fire-use decision model to improve the United States' wildfire management and support climate change adaptation. *Cell Reports Sustainability*, 1(6), 100125. <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2024.100125>
- Seger, C. D., Batista, A. C., Tetto, A. F., Giongo Alves, M. V., Soares, R. V. y Biondi, D. (2016). Incremento da biomassa aérea da vegetação dos campos naturais do Paraná em período pós-queima. *Floresta*, 46(1), 93-101. <https://doi.org/10.5380/rf.v46i1.43381>
- Seger, C. D., Batista, A., Tetto, A. y Soares, R. V. (2013). Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de estepe no município de Palmeira, Paraná, Brasil. *Floresta*, 43(4), 547-558. <https://doi.org/10.5380/rf.v43i4.31385>
- Soares, R. V.; Batista, A. C. y Tetto, A. F. (2017). *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo* (2nd ed.). Curitiba: Universidade Federal do Paraná. ISBN: 978-85-904353-6-5.
- Souza, I. V., Gomes, H., Sousa, D. A., Silvestre, A., Dornelas, P., Batista, A. C., Rodrigues, G. y Giongo, M. (2023). Predicting surface forest fuels on the cerrado in Cantão state park from airborne RGB sensor images. *Floresta*, 53(4), 538-547. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/88805>
- Torres, F. T. P., Lima, G. S., Oliveira, E. R. S. de, Lourenço, L. F., Félix, F. R. F., Ribeiro, G. A. y Fonseca, Ê. M. B. (2020). Manual de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais. Universidade Federal de Viçosa, MG. <https://acortar.link/Limam9>
- Van Wagner, C. E. (1973). Height of crown scorch in forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 3, 373-378. <https://n9.cl/zqd7j6>
- Wade, D. D. y Lunsford, J. D. (1989). *A Guide for Prescribed Fire in Southern Forests*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region. <https://acortar.link/yHdEOA>

Efectos de variables meteorológicas y del combustible sobre el comportamiento del fuego en quemas agrícolas
Marcos Pedro Ramos Rodríguez y Alexandra Claribel Mero Santana

