

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN QUEMAS CONTROLADAS PARA LIMPIEZA DE TERRENO EN LA COMUNIDAD ANDIL, MANABÍ, ECUADOR

FIRE BEHAVIOR IN CONTROLLED BURNS FOR LAND CLEARING IN THE ANDIL COMMUNITY, MANABÍ, ECUADOR

Tiglla-Moposita Andrés David ^{1*}

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Instituto de posgrado, Ecuador, Programa de Maestría en Gestión Ambiental. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0824-0078>. Correo: attandrestiglla@gmail.com

Ramos-Rodríguez Marcos Pedro ²

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Instituto de posgrado, Ecuador, Programa de Maestría en Gestión Ambiental. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0992-8414>. Correo: marcos.ramos@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: attandrestiglla@gmail.com

Resumen

Las quemas controladas son muy utilizadas para limpiar terrenos para la siembra de cultivos agrícolas; sin embargo, el comportamiento del fuego durante su ejecución no ha sido suficientemente documentado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del fuego en quemas controladas para limpieza de terrenos en la comunidad Andil, Manabí, Ecuador. La investigación se desarrolló mediante un diseño no experimental transversal. Se delimitaron 10 parcelas sobre combustibles apilados en hileras y 5 en combustibles dispersos. Antes de la quema se midieron variables del combustible y durante la misma, variables meteorológicas, así como parámetros del comportamiento del fuego. El análisis estadístico se realizó en SPSS con una significancia del 0,05. Los valores medios del peso seco, espesura del combustible, altura de las llamas y el calor liberado por unidad de área fueron estadísticamente iguales en ambos tipos de parcelas. Sin embargo, hubo diferencias significativas en la velocidad de propagación del fuego ($0,021$ y $0,007 \text{ m.s}^{-1}$), la intensidad lineal ($109,36$ y $40,27 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) y la altura de secado letal ($7,31$ y $2,81 \text{ m}$), siendo mayores en las parcelas ubicadas en las hileras de combustible. Se observó una alta correlación entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área. Los resultados sugieren que al reducir el peso seco del combustible, también disminuyen los valores de varios parámetros del comportamiento del fuego, hallazgo que puede ayudar a la toma de decisiones respecto a la regulación del uso del fuego para limpieza de terrenos.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

Palabras clave: incendios forestales; manejo del fuego; quemas de baja severidad; uso del fuego

Abstract

Controlled burns are widely used to clear land for the planting of agricultural crops; however, fire behavior during their execution has not been sufficiently documented. The objective of this work was to evaluate fire behavior in controlled burns for land clearing in the Andil community, Manabí, Ecuador. The research was developed using a non-experimental cross-sectional design. Ten plots with fuels stacked on rows and 5 on dispersed fuels were delimited. Fuel variables were measured before the burn and meteorological variables, as well as fire behavior parameters, were measured during the burn. Statistical analysis was performed in SPSS with a significance of 0.05. The mean values of dry weight, fuel thickness, flame height and heat released per unit area were statistically equal in both types of plots. However, there were significant differences in fire spread speed (0.021 and 0.007 m.s⁻¹), linear intensity (109.36 and 40.27 kcal.m⁻¹.s⁻¹) and lethal drying height (7.31 and 2.81 m), being higher in plots located in fuel rows. A high correlation was observed between fuel dry weight and heat released per unit area. The results suggest that reducing fuel dry weight also reduces the values of several fire behavior parameters, a finding that may help in decision-making regarding the regulation of fire use for land clearing.

Keywords: forest fire; fire management; low severity burning; fire use

Fecha de recibido: 09/03/2025

Fecha de aceptado: 23/04/2025

Fecha de publicado: 18/06/2025

Introducción

El fuego juega un papel en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Francos y Úbeda, 2021), siendo un factor de disturbio que influye en la conformación de los ecosistemas forestales al modificar su estructura (Alva-Álvarez *et al.*, 2018), por eso, la quema prescrita puede utilizarse para restaurar ecosistemas forestales degradados por presiones antropogénicas. Sin embargo, algunas especies como los líquenes epífitos pueden ser vulnerables al fuego (Nirhamo *et al.*, 2024), mientras que la quema controlada es muy utilizada en todo el mundo por ser, según Manrique Toala y Ramos Rodríguez (2022) una herramienta eficaz y económica para eliminar residuos de cosechas, limpiar terrenos y renovar pastos. No obstante, según los mismos autores, la mayoría de los incendios forestales se originan por el mal uso del fuego en las actividades agrícolas y forestales.

Los incendios forestales pueden tener varios impactos, entre ellos la mortalidad de la vegetación (Olivo Neto y Carniello, 2024), la afectación de las propiedades morfológicas y químicas de los suelos y el aumento de la contribución de componentes modificados pirogénicamente a la composición orgánica del suelo, por ejemplo, en los bosques de pinos del oriente de Siberia occidental (Dymov *et al.*, 2023), sin dejar de tener en cuenta que los suelos cubiertos por especies herbáceas son más sensibles a los efectos del fuego y menos capaces de



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

restaurar su funcionalidad en comparación con los suelos cubiertos por árboles (Panico *et al.*, 2020). No obstante, la baja severidad de las quemas experimentales realizadas en el páramo andino, Ecuador, no afectó las propiedades físico-químicas de los suelos y, por lo tanto, la calidad del suelo no se vio alterada (Carrión-Paladines *et al.*, 2023).

Mientras mejor se entienda el comportamiento del fuego durante su uso, mejores decisiones se tomarán en el ámbito del manejo del fuego. El comportamiento del fuego, según Ramos Rodríguez *et al.* (2024), puede definirse como la manera según la cual se manifiestan variables tales como velocidad de propagación, intensidad, calor 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.

Muchas investigaciones han sido realizadas en el área del comportamiento del fuego. Entre otros, pueden mencionarse las realizadas en *Tectona grandis* L.f. (Ramos Rodríguez *et al.*, 2019), en *Eucalyptus urograndis* (Alves *et al.*, 2019) en *Pinus elliottii* (Batista *et al.*, 2013), en un bosque estacional semidecídico (de Camargos *et al.*, 2015), en un pastizal y una sábana artificiales (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2020), en el cerrado de Brasil (Rissi *et al.*, 2017), en cultivos de trigo (Cruz *et al.*, 2020). No obstante, para el caso del comportamiento del fuego durante la quema de los residuos de *Zea mays* L. (maíz) solo existe el trabajo de Ramos Rodríguez *et al.* (2024). Debido a lo anterior esta investigación, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento del fuego en quemas controladas para limpieza de terreno en la comunidad Andil, Manabí, Ecuador, es pertinente y hace un aporte significativo al conocimiento del comportamiento del fuego durante este tipo de quemas con vistas a su regulación bajo la óptica de la ciencia. Dichas quemas controladas son ejecutadas todos los años en la provincia de Manabí, según han documentado Ramos-Rodríguez *et al.* (2021), Ramos-Rodríguez *et al.* (2022) y Manrique-Toala *et al.* (2022), así como Ramos Rodríguez y Molina Terrén (2023). En este trabajo se probó la hipótesis de que los parámetros del comportamiento del fuego alcanzan mayores valores cuando se quema el combustible apilado en hileras que cuando el mismo se quema disperso en el área, es decir, sin apilar, dos de las formas utilizadas por los campesinos.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

Para desarrollar la investigación se seleccionó a la comuna Andil, parroquia Dr. Miguel Morán Lucio, cantón Jipijapa, ubicada en el extremo sur de la provincia de Manabí entre las coordenadas 01°10' - 01°47' de latitud sur y 80°25' - 80°52' de longitud oeste (Figura 1). Cabe señalar que el cantón Jipijapa está formado por tres parroquias urbanas y siete rurales, limitando al norte con los cantones Montecristi, Portoviejo y Santa Ana, al sur con la provincia de Santa Elena y Puerto López, al este con los cantones Paján y 24 de Mayo y al oeste con el Océano Pacífico.



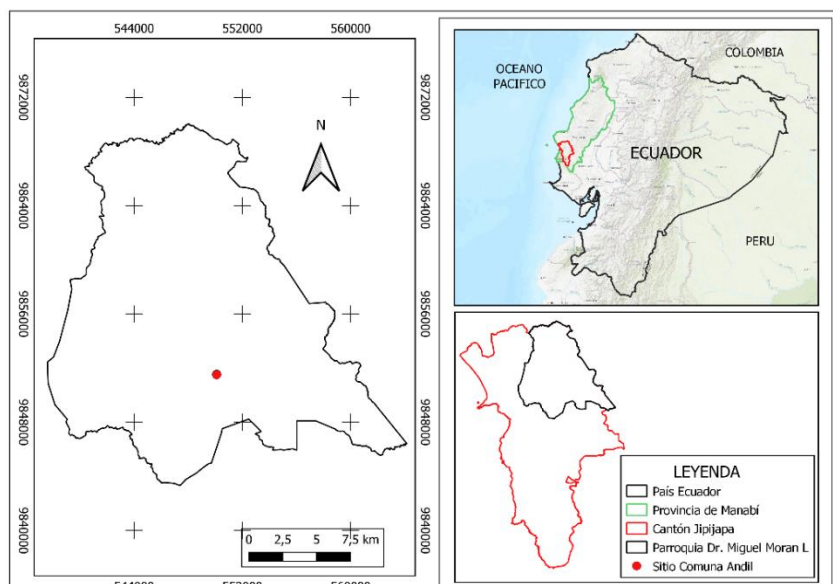


Figura 1 Ubicación del área de estudio

Diseño de la investigación y recolección de los datos

La investigación se desarrolló a través de un diseño no experimental transversal. La quema de las parcelas se realizó el 18 de noviembre de 2022, siendo este uno de los meses en que más se utiliza el fuego en la localidad para eliminar los residuos de cosecha de *Zea mays* L. y la vegetación herbácea que los acompaña, lo cual coincide con la distribución mensual de los focos de calor durante el periodo 2014-2023 en el cantón Jipijapa (Figura 2).

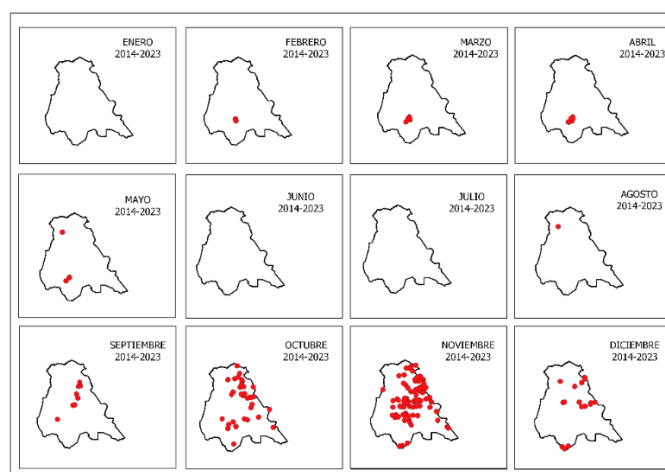


Figura 2. Distribución de los focos de calor a través de los meses en el cantón Jipijapa (2014-2023)

Para establecer las parcelas experimentales se consideró que los combustibles antes de ser quemados, unas veces son apilados en hileras o rollos y otras se dejan dispersos sobre toda el área a limpiar. En

correspondencia con esto y siguiendo a Ramos Rodríguez *et al.* (2024), se delimitaron 10 parcelas de 5 m de largo con un ancho promedio de 1,8 m ubicadas una a continuación de la otra sobre hileras o rollos de desechos o combustibles y otras tres parcelas de 20 x 50 m en un área donde los combustibles se encontraban dispersos, es decir, cortados pero no apilados. Alrededor de estas tres parcelas se construyó un cortafuego de 1 m de ancho para evitar que el fuego pasara al área externa del tratamiento.

La información sobre focos de calor fue obtenida de *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) a partir de consultas para todo Ecuador (<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms>) considerando las informaciones del instrumento *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) ubicado en los satélites Terra y Aqua desde 1999 y 2002, respectivamente. La información en formato .csv fue cargada al software QGIS Desktop 3.16.16. Posteriormente se recortó la parroquia Dr. Miguel Morán Lucio. Se trabajó con datos del periodo 2014-2023 generándose 12 mapas correspondientes a cada uno de los meses del año a partir de las capas de dicho mes cada uno de los 10 años objeto de análisis.

Caracterización de variables meteorológicas y de los combustibles

Para caracterizar a las variables meteorológicas temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento se realizaron mediciones de las mismas utilizando un medidor meteorológico portátil *Ambient Weather WM-4* al iniciar la quema, cuando el fuego se encontraba en la mitad de la parcela y otra una vez que el fuego había llegado al final de la misma. Estas mediciones se realizaron a 0,50 m de altura del suelo y a más de 3 m de distancia del extremo de la parcela por donde se inició el fuego, evitándose de esta manera que las mediciones fueran afectadas por el ambiente del fuego. Metodología similar utilizaron Ramos Rodríguez *et al.* (2024) en su estudio sobre el comportamiento del fuego en quemas controladas en tierras de vocación forestal en Sancán, Manabí, Ecuador.

La caracterización del material combustible se realizó a través de mediciones de 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 basó en el método destructivo propuesto por Cruz *et al.* (2020) y utilizado, entre otros investigadores, por Ramos Rodríguez *et al.* (2024). De forma similar a lo realizado por estos investigadores, en el centro de cada una de las parcelas ubicadas en las hileras de combustibles se colectó una muestra de miscelánea y tallos de 2 380 cm² delimitada por un cuadro de madera de 50 x 50 cm, de cuyo interior se retiró todo el material.

En el caso de las parcelas de 20 x 50 m la muestra fue de 1 m². El material se separó en: a) miscelánea, entendiéndose como tal a los materiales no leñosos muertos tales como hojas, humus y frutos, y b) los tallos de las plantas de maíz (pancas) y de herbáceas con diámetros superiores a 0,7 cm. El material colectado fue pesado con balanza de gancho de 0,01 g de precisión, tomándose del mismo muestras de 100 g de cada parcela la cual fue colocada 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 en estufa a 75 °C por 48 horas muestras de 50 g por parcela, siguiendo a Seger *et al.* (2013, 2016) y a Ramos Rodríguez *et al.* (2024).

La espesura de la capa de combustibles depositados sobre el suelo se determinó a través de tres mediciones realizadas en los extremos y en el centro de cada parcela de 5 x 1,8 m y 10 mediciones realizadas separadas



unas de otras 5 m en el centro de las parcelas de 20 x 50 m. La humedad de los combustibles el día de la quema se determinó a través de la Ecuación 1 (Čekovská *et al.*, 2017; Ramos Rodríguez *et al.*, 2024).

$$W = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

Dónde: W, contenido de humedad (%); m_w , peso húmedo de la muestra (kg); m_0 , peso de la muestra después del secado en la estufa (kg).

Evaluación de parámetros del comportamiento del fuego

Los parámetros del comportamiento del fuego evaluados durante la quema de las parcelas fueron altura de las llamas, velocidad de propagación, intensidad lineal del fuego, altura de secado letal y calor liberado por unidad de área. Siguiendo la metodología descrita por Ramos Rodríguez *et al.* (2024), la altura de las llamas se midió en cada parcela con una baliza graduada a los 2 y 4 m del extremo por donde se inició la quema, es decir, dos mediciones en cada parcela ubicada en las hileras de combustible y 10 mediciones en las parcelas de 20 x 50 m, es decir, cada 5 m. La velocidad media de propagación del fuego se calculó midiendo el tiempo empleado por el fuego para recorrer cada parcela considerando esto cuando el 50 % de la línea de fuego llegó al final de la parcela. La intensidad lineal del fuego (Byram, 1959), la altura de secado letal (Wagner, 1973) y el calor desprendido por unidad de área se estimaron como se citó en Soares *et al.* (2017) a través de las Ecuaciones 2, 3 y 4, respectivamente.

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

$$h_s = \frac{3.94 * I^{\frac{1}{2}}}{(0.107 * V^3)^{\frac{1}{2}}(60 - T)} \quad (3)$$

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

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

El calor de combustión del material húmedo se calculó a través de la Ecuación 5 (Soares *et al.*, 2017). Se consideró un calor de combustión seco de $4\,000 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ($16\,720 \text{ kJ.kg}^{-1}$) el cual utilizaron Ramos Rodríguez *et al.* (2019, 2024).

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

Dónde: Hw, calor de combustión del material húmedo (kcal.kg^{-1}); Hd, calor de combustión del material seco (kcal.kg^{-1}); U, contenido de humedad del material combustible (%).



Las variables utilizadas en el experimento fueron: altura de las llamas (Hll) en cm; velocidad de propagación del fuego (Vpf) en $m.s^{-1}$; intensidad lineal del fuego (I) en $kcal.m^{-1}.s^{-1}$; altura de secado letal (Hs) en m; calor liberado por unidad de área (Ha) en $kcal.m^{-2}$; temperatura del aire (T) en $^{\circ}C$; humedad relativa (Hr) en %; velocidad del viento (Vv) en $m.s^{-1}$; peso del material combustible seco antes de la quema (PcA) en $kg.m^{-2}$; espesura de la capa de combustible antes de la quema (EspA) en cm y humedad de los combustibles (Hc) en %.

Procesamiento estadístico

El análisis estadístico se realizó con SPSS *Statistics for Windows* (Versión 22.0) (IBM Corp., 2013), considerando un nivel de significancia de 0,05 ($p=0,05$). La prueba de Shapiro-Wilks mostró que las variables velocidad del viento ($p=0,013$), humedad de los combustibles ($p=0,028$) e intensidad lineal ($p=0,013$) no siguieron una distribución normal, mientras que el resto sí lo hizo ($p>0,05$). Para datos con distribución normal, se empleó la prueba t de Student para verificar la diferencia entre medias, y para los que no, la prueba U de Mann-Whitney. Según el ajuste a la normalidad, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson o el de Spearman. En ambos casos, se consideró un nivel de significancia del 5 %, y la magnitud de las correlaciones se interpretó según las Tablas 1 y 2 (Bisquerra Alzina, 2009).

Tabla 1. Interpretación de los valores de las correlaciones de Spearman.

Valor de r	Interpretación
0,00 – 0,20	Prácticamente nula
0,21 – 0,40	Baja
0,41 – 0,70	Moderada
0,71 – 0,90	Alta
0,91 – 1,00	Muy alta

Tabla 2. Interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson según sugerencia de Cohen

Valor de r	Interpretación
0,00 – 0,10	Nula
0,10 – 0,30	Débil
0,30 – 0,50	Moderada
0,50 – 1,00	Fuerte

Resultados y discusión

Variables meteorológicas y de los combustibles

El día de la quema los valores medios obtenidos para las variables meteorológicas en cada tipo de parcela según la prueba t de Student fueron estadísticamente diferentes para las variables temperatura del aire ($t=3,112$; $p=0,010$) y humedad relativa ($t=-3,763$; $p=0,003$), mientras que el valor medio de la velocidad del viento, de acuerdo con la prueba U de Mann-Whitney, fue similar ($Z=0,348$; $p=0,811$). Además, los valores obtenidos para la desviación estándar indican una mayor dispersión de los datos con respecto a la media para el caso de la humedad relativa en las parcelas ubicadas en hileras, mientras que la temperatura del aire y la velocidad del viento se comportaron más estables durante la ejecución de la quema en esas parcelas que en las ubicadas en materiales dispersos (Tabla 3).



Tabla 3. Variables meteorológicas el día de la quema en cada parcela experimental

Parcelas en hileras de combustibles				Parcelas en combustibles dispersos			
No.	T (°C)	Hr (%)	Vv (m.s ⁻¹)	No.	T (°C)	Hr (%)	Vv (m.s ⁻¹)
1	31,73	45,43	1,26	1	29,80	50,46	1,37
2	32,46	44,43	1,76	2	29,16	51,93	2,77
3	32,37	45,40	1,76	3	31,83	48,23	2,03
4	30,76	48,00	1,93				
5	31,53	48,80	2,40				
6	31,60	46,20	1,23				
7	31,60	44,23	2,40				
8	31,83	44,76	2,40				
9	32,60	43,60	2,40				
10	32,67	41,97	2,40				
Media	31,91^a	45,28^a	1,99^a	Media	30,26^b	50,21^b	2,05^a
± ds	0,60	2,01	0,48	± ds	1,39	1,86	0,70

Nota: Las medias en las columnas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). T: Temperatura del aire; Hr: Humedad relativa; Vv: Velocidad del viento; ± ds: Desviación estándar

Con respecto a las características del combustible antes de la quema (Tabla 4), según la prueba t de Student no existió diferencia significativa entre los valores medios del peso del material combustible seco ($t = -0,331$; $p = 0,747$) y de la espesura de la capa de combustible antes de la quema ($t = 0,845$; $p = 0,416$), mientras que la prueba U de Mann-Whitney confirmó igual resultado para el caso de la humedad del combustible ($Z = 0,856$; $p = 0,469$).

Tabla 4. Características del combustible antes de la quema en las parcelas experimentales

Parcelas en hileras de combustibles				Parcelas en el área de combustibles dispersos			
No.	PcA (kg.m ⁻²)	EspA (m)	Hc (%)	No.	PcA (kg.m ⁻²)	EspA (m)	Hc (%)
1	1,74	0,28	9,90	1	1,28	0,25	9,43
2	1,47	0,26	8,75	2	1,42	0,34	10,22
3	1,22	0,37	8,90	3	1,77	0,27	8,98
4	1,52	0,35	7,64				
5	1,14	0,31	9,90				
6	1,11	0,26	10,01				
7	1,19	0,30	9,90				
8	0,93	0,28	8,75				
9	2,14	0,33	8,75				
10	1,68	0,48	10,01				
Media	1,41^a	0,32^a	9,25^a	Media	1,49^a	0,28^a	9,54^a
± ds	0,36	0,06	0,81	± ds	0,25	0,05	0,63

Nota: Las medias en las columnas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). PcA: Peso del material combustible seco antes de la quema; EspA: Espesura de la capa de combustible antes de la quema; Hc: Humedad de los combustibles; ± ds: Desviación estándar



Parámetros del comportamiento del fuego

Los valores medios obtenidos para los parámetros del comportamiento del fuego en los dos tipos de parcelas fueron estadísticamente diferentes para las variables velocidad de propagación ($t=2,398$; $p=0,035$), intensidad lineal ($Z=-2,028$; $p=0,049$) y altura de secado letal ($t=2,587$; $p=0,047$), no existiendo diferencia estadística para las variables altura de las llamas ($t=1,581$; $p=0,142$) y calor desprendido por unidad de área ($t=-0,309$; $p=0,763$). No obstante, dichos valores medios fueron numéricamente superiores para todos los parámetros del comportamiento del fuego en las parcelas ubicadas en las hileras de combustible, excepto para la variable calor liberado por unidad de área. También en las parcelas ubicadas en las hileras de combustibles los valores de desviación estándar obtenidos para cada variable indican mayor dispersión de los datos con respecto a la media, lo cual supone un comportamiento del fuego menos homogéneo en sentido general (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de los parámetros del comportamiento del fuego en cada parcela de quema

Parcelas	Hll (m)	Vpf (m.s ⁻¹)	I (kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹)	(kw.m ⁻¹)	hs (m)	Ha (kcal.m ⁻²)
Parcelas en hileras de combustibles						
1	1,50	0,012	74,92	313,40	6,77	6243,46
2	1,40	0,017	90,77	379,69	7,07	5339,31
3	1,17	0,021	92,91	388,64	7,19	4424,20
4	1,57	0,042	234,65	981,54	13,82	5586,81
5	0,87	0,028	114,54	479,11	6,84	4090,54
6	1,37	0,021	83,54	349,47	7,37	3978,28
7	1,50	0,014	59,78	250,06	3,65	4269,95
8	0,57	0,012	40,54	169,56	2,47	3377,93
9	0,86	0,028	217,64	910,41	12,60	7772,87
10	1,03	0,014	84,30	352,62	5,32	6021,18
Media	1,18^a	0,021^a	109,36^a	457,45^a	7,31^a	5110,45^a
± ds	0,33	0,009	64,75	270,88	3,52	1332,58
Parcelas en el área de combustibles dispersos						
1	0,78	0,004	18,46	77,23	1,84	4615,76
2	0,90	0,005	25,39	106,21	1,14	5078,09
3	0,91	0,012	76,96	321,93	5,45	6413,26
Media	0,86^a	0,007^b	40,27^b	168,45^b	2,81^b	5369,03^a
± ds	0,07	0,004	31,96	133,69	2,31	933,40

Nota: Las medias en las columnas con la misma letra son estadísticamente iguales ($P < 0.05$). 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; ± ds: Desviación estándar

Análisis de correlación

Entre variables meteorológicas y variables del comportamiento del fuego no se obtuvo relación significativa ($p < 0,05$) en ningún caso. Sin embargo, en las parcelas ubicadas en los combustibles dispersos se obtuvieron coeficientes de correlación altos o muy altos entre algunos pares de variables (Tabla 6).



Tabla 6. Correlación entre variables meteorológicas y del comportamiento del fuego para parcelas ubicadas en hileras y en combustibles dispersos

Variables	Hileras		Dispersos	
	r	p	r	p
Temperatura – Altura de las llamas	-0,466	0,174	0,353	0,770
Temperatura – Velocidad de propagación	-0,332	0,348	0,941	0,221
Temperatura – Intensidad lineal	-0,079	0,828	0,943	0,217
Temperatura – Altura de secado letal	-0,164	0,650	0,997	0,051
Temperatura – Calor liberado por unidad de área	0,432	0,213	0,886	0,307
Humedad relativa – Altura de las llamas	0,261	0,466	-0,186	0,881
Humedad relativa – Velocidad de propagación	0,399	0,254	-0,868	0,331
Humedad relativa – Intensidad lineal	0,248	0,489	-0,871	0,327
Humedad relativa – Altura de secado letal	0,333	0,347	-0,968	0,161
Humedad relativa – Calor liberado por unidad de área	-0,382	0,276	-0,793	0,418
Velocidad del viento – Altura de las llamas	-0,514	0,128	0,811	0,398
Velocidad del viento – Velocidad de propagación	0,016	0,964	0,082	0,948
Velocidad del viento – Intensidad lineal	0,039	0,915	0,076	0,952
Velocidad del viento – Altura de secado letal	-0,402	0,249	-0,184	0,882
Velocidad del viento – Calor liberado por unidad de área	-0,013	0,972	0,216	0,862

Entre variables del combustible y del comportamiento del fuego se obtuvo relación entre peso seco del combustible y calor liberado por unidad de área tanto para parcelas ubicadas en hileras ($p=0,000$; $r=1,000$) como en combustibles dispersos ($p=0,020$; $r=1,000$) (Tabla 7). Lo mismo ocurrió entre variables del comportamiento del fuego para el caso de la relación entre velocidad de propagación e intensidad lineal en parcelas ubicadas en hileras ($p=0,000$; $r=0,908$) y en combustibles dispersos ($p=0,004$; $r=1,000$). También se obtuvo relación entre la velocidad de propagación y la altura de secado letal ($p=0,002$; $r=0,847$) y entre la intensidad lineal y la altura de secado letal ($p=0,004$; $r=0,818$) en el caso de las parcelas ubicadas en las hileras de combustible (Tabla 8).

Tabla 7. Correlación entre variables del combustible y del comportamiento del fuego para parcelas ubicadas en hileras y en combustibles dispersos

Variables	Hileras		Dispersos	
	r	p	r	p
Peso seco del combustible – Altura de las llamas	0,231	0,521	0,767	0,444
Peso seco del combustible – Velocidad de propagación	0,129	0,723	0,986	0,106
Peso seco del combustible – Intensidad lineal	0,442	0,200	0,985	0,110
Peso seco del combustible – Altura de secado letal	0,345	0,328	0,908	0,276
Peso seco del combustible – Calor liberado por unidad de área	1,000**	0,000	1,000*	0,020
Espesura del combustible – Altura de las llamas	-0,125	0,730	0,619	0,575
Espesura del combustible – Velocidad de propagación	0,330	0,351	-0,194	0,876
Espesura del combustible – Intensidad lineal	0,494	0,147	-0,200	0,872
Espesura del combustible – Altura de secado letal	0,146	0,687	-0,446	0,706
Espesura del combustible – Calor liberado por unidad de área	0,409	0,241	-0,060	0,962
Humedad del combustible – Altura de las llamas	-0,031	0,932	0,088	0,944
Humedad del combustible – Velocidad de propagación	-0,322	0,365	-0,700	0,506



Humedad del combustible – Intensidad lineal	-0,411	0,238	-0,704	0,502
Humedad del combustible – Altura de secado letal	-0,349	0,323	-0,863	0,337
Humedad del combustible – Calor liberado por unidad de área	-0,156	0,667	-0,597	0,593

Tabla 8. Correlación entre variables del comportamiento del fuego para parcelas ubicadas en hileras y en combustibles dispersos

Variables	Hileras		Dispersos	
	r	p	r	p
Altura de las llamas – Velocidad de propagación	0,055	0,879	0,650	0,549
Altura de las llamas – Intensidad lineal	0,049	0,894	0,645	0,553
Altura de las llamas – Altura de secado letal	0,237	0,510	0,427	0,719
Altura de las llamas – Calor liberado por unidad de área	0,231	0,521	0,747	0,463
Velocidad de propagación – Intensidad lineal	0,908**	0,000	1,000**	0,004
Velocidad de propagación – Altura de secado letal	0,847**	0,002	0,965	0,170
Velocidad de propagación – Calor liberado por unidad de área	0,129	0,723	0,991	0,086
Intensidad lineal – Altura de secado letal	0,818**	0,004	0,966	0,166
Intensidad lineal – Calor liberado por unidad de área	0,442	0,200	0,990	0,090
Altura de secado letal – Calor liberado por unidad de área	0,345	0,328	0,920	0,256

Los análisis de regresión realizados (Figuras 3, 4 y 5) muestran una relación positiva, pudiéndose utilizar las ecuaciones obtenidas para modificar el patrón de quema en caso necesario a partir de considerar que al disminuir el peso seco del material combustible también disminuye el calor liberado por unidad de área. Igualmente se obtuvo que, si se disminuye la velocidad de propagación del fuego, se puede disminuir la intensidad lineal y la altura de secado letal.

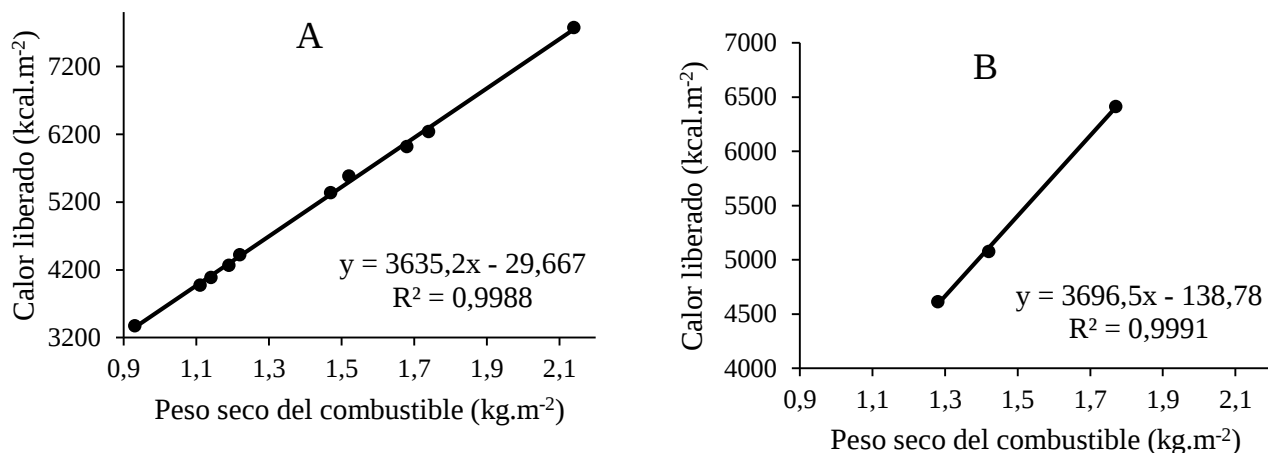


Figura 3. Análisis de regresión entre el peso seco del combustible y el calor liberado por unidad de área para parcelas ubicadas en hileras (A) y en combustibles dispersos (B).



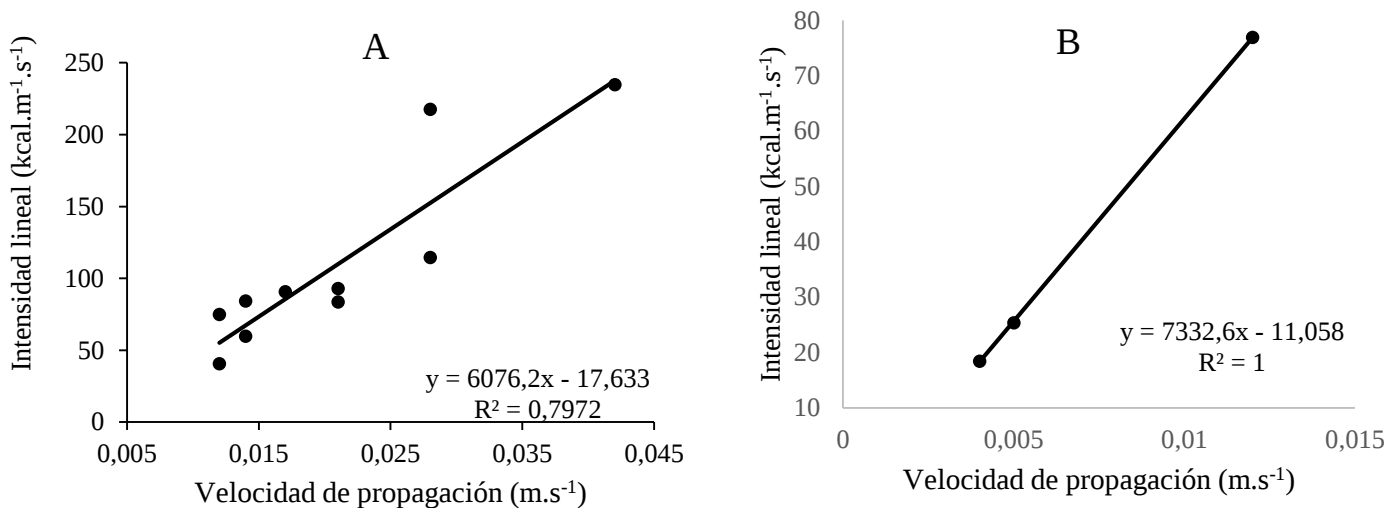


Figura 4. Análisis de regresión entre la velocidad de propagación y la intensidad lineal para parcelas ubicadas en hileras (A) y en combustibles dispersos (B)

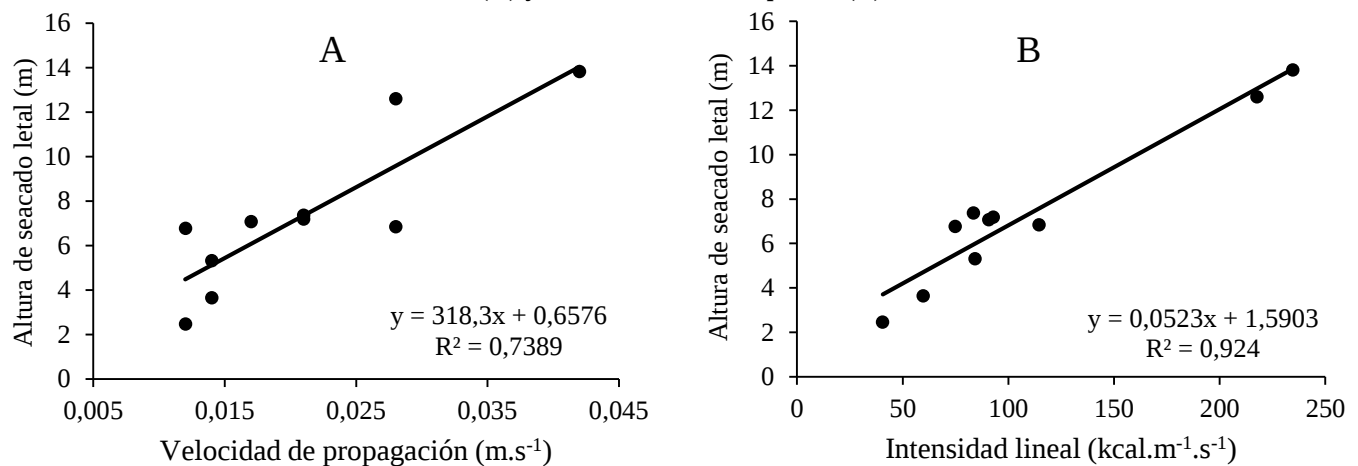


Figura 5. Análisis de regresión entre la velocidad de propagación y la altura de secado letal (A) y entre la intensidad lineal y la altura de secado letal (B) en parcelas ubicadas en hileras de combustibles

Discusión

Condiciones meteorológicas y características de los combustibles

El tiempo, es decir, las condiciones meteorológicas, representa el estado momentáneo de la atmósfera en un lugar específico y es uno de los factores clave en el surgimiento y propagación del fuego (Ramos, 2019). Al estudiar la influencia de los elementos meteorológicos en el comportamiento del fuego, Torres *et al.* (2019) observaron que el contenido de humedad es la propiedad más importante que controla la inflamabilidad de



los combustibles. En concordancia con esto, en la presente investigación, el valor medio de la humedad de los combustibles fue numéricamente superior durante la quema de las parcelas con combustibles dispersos (8h00-11h00) y menor en las parcelas en hileras de combustibles, quemadas entre las 11h20 y 12h30. Este comportamiento se relaciona con la variación diaria de la humedad relativa y la temperatura del aire. Resultados similares fueron obtenidos por Ramos Rodríguez *et al.* (2024) en quemas controladas para limpieza de terrenos en Sancán, aunque dichos autores quemaron primero las parcelas en hileras de combustibles y luego las de combustibles dispersos.

Con respecto a la velocidad del viento su valor medio fue mayor en esta investigación durante la quema de los dos tipos de parcelas que en la realizada por Ramos Rodríguez *et al.* (2024), pudiéndose precisar que aunque entre los valores reportados para los dos tipos de parcelas no hubo diferencia estadísticamente significativa ni en Sancán ni en Andil, los valores medios reportados en Sancán fueron numéricamente superiores en horas del mediodía mientras que en Andil esto ocurrió en horas de la mañana.

Durante el desarrollo de una quema experimental en una plantación de *Tectona grandis* L.f. Ramos *et al.* (2019) reportaron mayor valor medio de la humedad relativa y menores valores de temperatura del aire y velocidad del viento que los obtenidos en esta investigación. Resultados similares documentaron Carrión-Paladines *et al.* (2023) durante la quema de parcelas en el páramo andino, con la diferencia de que la velocidad del viento fue mayor. Cruz *et al.* (2020) quemaron parcelas experimentales antes y después de la cosecha de *Triticum* spp. (trigo) con valores similares de temperatura del aire a los reportados en esta investigación, siendo menores los valores de la humedad relativa y superiores los de la velocidad del viento.

La diferencia entre los resultados comentados anteriormente respecto a las variables meteorológicas, puede deberse a la localidad, al día específico en que se ejecutaron las quemas, a la estructura de la vegetación y a la mayor o menor exposición al sol. Soares y Batista (2007), señalan que la posibilidad y la frecuencia de ocurrencia de los incendios forestales están íntimamente relacionadas con las condiciones meteorológicas. Por este motivo, el conocimiento de algunas variables meteorológicas, es de gran importancia en la prevención de los incendios. A través de las variables meteorológicas se pueden identificar los días y las épocas de mayor probabilidad de ocurrencia de incendios, y con esas informaciones, tomar medidas técnicas y administrativas para reducir el potencial de daños del fuego.

En esta investigación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores medios de las variables del combustible entre los distintos tipos de parcelas. Sin embargo, el valor medio de la espesura de la capa de combustible fue ligeramente superior en las parcelas ubicadas en las hileras de combustible. Además, en estas parcelas, la desviación estándar mostró una mayor dispersión de los datos respecto a la media en todas las variables analizadas, lo que sugiere una distribución menos homogénea del combustible en comparación con las parcelas donde este se encontraba disperso. Resultados similares fueron documentados por Ramos Rodríguez *et al.* (2024) en Sancán, Manabí, quienes registraron diferencias estadísticamente significativas en el peso seco y la espesura del combustible, con valores mayores para las parcelas en hileras de combustible, donde también se observaron desviaciones estándar más altas.

En una plantación de *Tectona grandis* L.f., Ramos Rodríguez *et al.* (2019) obtuvieron valores medios menores de peso seco y espesura de la capa de combustible en comparación con los resultados de esta investigación. Por otro lado, Carrión-Paladines *et al.* (2023) reportaron en el páramo andino de Ecuador un valor medio del



peso seco del combustible similar ($1,79 \text{ kg.m}^{-2}$) al obtenido en este estudio. En contraste, Cruz *et al.* (2020) informaron un peso seco del combustible inferior para *Triticum spp.*, aunque la espesura de la capa de combustible fue superior antes de la cosecha (0,73 m) y similar después de la cosecha (0,29 m) a la registrada en esta investigación para las parcelas ubicadas en combustibles dispersos.

Parámetros del comportamiento del fuego

La investigación probó que los parámetros del comportamiento del fuego alcanzan mayores valores cuando el combustible se quema apilado en hileras que disperso en el área, salvo en el caso del calor liberado por unidad de área. En promedio, las parcelas con combustible en hileras mostraron valores superiores, aunque sin diferencias significativas para altura de las llamas y calor liberado por unidad de área. Ramos Rodríguez *et al.* (2024), en experimentos similares, también hallaron valores superiores en las parcelas ubicadas en las hileras de combustible para todas las variables del comportamiento del fuego. Es necesario repetir estudios quemando en diferentes horarios y analizando las propiedades del suelo antes y después de las quemas. Sin embargo, estos resultados aportan a la toma de decisiones respecto a la regulación del uso del fuego, favoreciendo un uso más amigable con el medio ambiente.

En una quema controlada en parcelas de *Hypharrenia rufa* (pasto Jaragua), Quissindo (2018) reportó valores superiores de altura de llama (1,5 m), velocidad de propagación ($0,03 \text{ m.s}^{-1}$) y calor desprendido por unidad de área ($8,722 \text{ kcal.m}^{-2}$) en comparación con esta investigación. Cruz *et al.* (2020) también informaron valores más altos de altura de llama, velocidad de propagación e intensidad lineal para *Triticum spp.*, antes y después de la cosecha. En el páramo andino de Ecuador, Carrión-Paladines *et al.* (2023) encontraron valores menores para la altura de las llamas y mayores para la velocidad de propagación, tanto a favor como en contra de la pendiente. Por su parte, Ramos *et al.* (2019) reportaron en una plantación de *Tectona grandis* menores valores medios en altura de llama, velocidad de propagación, intensidad lineal, altura de secado letal y calor desprendido por unidad de área, respecto a los obtenidos en esta investigación.

Es interesante señalar que, aunque esta investigación se realizó en residuos de *Zea mays L.* y la de Carrión-Paladines *et al.* (2023) en el páramo andino, ambas quemas fueron de baja severidad. Según estos autores, dicha severidad no afectó las propiedades físico-químicas ni la calidad del suelo. Agbeshie *et al.* (2022) indican que el impacto del fuego en el suelo depende principalmente de la severidad, determinada por la intensidad y duración del fuego, afectando propiedades biológicas, químicas y físicas. La quema de materia orgánica y la deposición de cenizas influyen en las propiedades químicas del suelo, y los incendios de baja intensidad pueden aumentar nutrientes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+) y pH, mientras que los de alta intensidad reducen la materia orgánica y el N total por combustión y volatilización.

Análisis de correlación

En esta investigación por lo general no se halló una relación significativa entre las variables meteorológicas y las del comportamiento del fuego, así como entre variables del combustible y del comportamiento del fuego ni entre estas últimas. Esto podría deberse al breve tiempo de quema de las parcelas, realizado además, en el mismo día. Sería conveniente repetir la quema en diferentes horas (mañana, mediodía y tarde) y en días distintos. Ramos Rodríguez *et al.* (2024), en quemas de residuos vegetales similares, observaron un mayor número de relaciones significativas entre variables, mayormente entre las del comportamiento del fuego, similar a lo obtenido en este estudio. De manera consistente, Ramos *et al.* (2019), en una quema experimental



de *Tectona grandis*, también encontraron relaciones significativas ($p < 0,05$) entre variables del comportamiento del fuego, pero no entre estas con las meteorológicas ni las del combustible.

De manera congruente, Cheney *et al.* (2012) hallaron en bosques secos de eucaliptos en el sur de Australia que la altura de la llama se correlacionó razonablemente bien con la tasa de propagación del fuego ($R^2 = 0,72$). En quemas experimentales bajo plantaciones de *Pinus elliottii*, Batista *et al.*, (2013) observaron las correlaciones más altas entre altura de las llamas y velocidad de propagación ($r = 0,862$), así como entre la intensidad lineal y la altura de las llamas ($r = 0,777$).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que el peso seco del combustible tiene una relación directa con el calor liberado por unidad de área, lo cual sugiere que, al disminuir este peso, los parámetros de propagación e intensidad del fuego también se reducen. Esto puede ser útil para diseñar quemas controladas más seguras ajustando la cantidad de combustible en las áreas tratadas, lo cual pudiera lograrse aumentando el ancho de las hileras de combustible o priorizando las quemas de los combustibles sin ser apilados.

Las parcelas con combustibles apilados en hileras mostraron mayores valores de velocidad de propagación, intensidad lineal y altura de secado letal que las parcelas con combustibles dispersos. Esto indica que la disposición del material combustible impacta significativamente en las variables que describen el comportamiento del fuego, lo cual debería considerarse al planificar quemas controladas.

La investigación respalda el uso de quemas controladas de baja severidad como una práctica de limpieza de terreno ambientalmente viable. Los resultados ofrecen una base científica para regular esta actividad en beneficio del suelo y del ecosistema, minimizando efectos adversos a largo plazo y promoviendo su uso seguro en la gestión de terrenos agrícolas. No obstante, deben repetirse investigaciones similares en las cuales se quemen varias parcelas durante todas las horas del día, a la vez que se incluya la evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades del suelo, así como sobre la liberación a la atmósfera de CO_2 y otros gases de efecto invernadero.

Agradecimientos

Al Señor Antonio Simón Pachay Pinargote por permitir hacer el trabajo en sus tierras y a la Universidad Estatal del Sur de Manabí por brindar el apoyo necesario para la realización de la investigación y su publicación. También se agradece al Ingeniero Alexis Gonzalo Delgado Rodríguez por su ayuda en el trabajo de campo.

Referencias

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T. y Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33(5), 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, Á. G., Núñez-López, D. y Muñoz-Robles, C. (2018). Cambios en el paisaje ocasionados por incendios forestales en la región de Madera, Chihuahua.



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

Madera Bosques, 24(3), 1–15. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431697>

- Alves, L., Souza, A., Casavecchia, B., Dias, T., Borella, D., Ferneda, B. y Martim, C. (2019). Simulação do comportamento do fogo em cultivo de *Eucalyptus urograndis* (Clone H13). *Sociedade & Natureza*, 30(3), 42–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-3>
- Batista, A. C., Beutling, A. y Pereira, J. F. (2013). Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. *Árvore*, 37(5), 779–787. <https://www.scielo.br/j/rarv/a/By4ysMc5986HxXXWC86XNSK/?lang=pt>
- Bisquerra Alzina, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa* (Segunda ed). La Muralla, S.A. <https://acortar.link/XkZfs>
- 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/fire612044>
- 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>
- de Camargos, V. L., Ribeiro, G. A., da Silva, A. F., Martins, S. V. y da Silva Carmo, F. M. (2015). Estudo 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/https://doi.org/10.5902/1980509819605>
- Dymov, A. A., Startsev, V. V, Yakovleva, E. V, Dubrovskiy, Y. A., Milanovsky, E. Y., Severgina, D. A., Panov, A. V. y Prokushkin, A. S. (2023). Fire-Induced Alterations of Soil Properties in Albic Podzols Developed under Pine Forests (Middle Taiga, Krasnoyarsky Kray). *Fire*, 6(67). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fire602006>
- Francos, M. y Úbeda, X. (2021). Prescribed fire management. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 21, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100250>
- IBM Corp. (2013). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. IBM Corp., Armonk, NY: IBM Corp.
- Manrique-Toala, T., Ramos-Rodríguez, M. P., De La Cruz-Rosales, G., 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://doi.org/https://doi.org/10.54753/blc.v12i2.1600>
- Manrique Toala, T. O. y Ramos Rodríguez, M. P. (2022). Uso del fuego en áreas de vocación forestal de Sancán y Membrillal, cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Alcance*, 1(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.47230/ra.v1i5.15>



- Nirhamo, A., Hämäläinen, A., Hämäläinen, K. Kouki, J. (2024). The response of epiphytic lichens on living and dead *Pinus sylvestris* to prescribed fires of varying severity. *Forest Ecology and Management*, 551. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121558>
- Olivo Neto, A. M. O. y Carniello, M. A. (2024). Vegetation Mortality Caused By Forest Fire in a Fragment in the Amazonia-Cerrado-Pantanal Ecotone: Use of Drones in the Assessment. *Floresta*, 54(1), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5380/rf.v54i1.86364>
- Panico, S. C., Ceccherini, M. T., Memoli, V., Maisto, G., Pietramellara, G., Barile, R. y De Marco, A. (2020). Effects of different vegetation types on burnt soil properties and microbial communities. *International Journal of Wildland Fire*, 29(7), 628–636. <https://doi.org/10.1071/WF19081>
- Quissindo, I. A. B. (2018). Estimación del comportamiento del fuego en quema controlada en la Hacienda Experimental de Ngongoinga (Huambo, Angola). *Revista Digital de Medio Ambiente "Ojeando La Agenda,"* 54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6639418>
- Ramos-Rodríguez, M. P., Alcívar-Cobeña, A., Cedeño-Luna, N. A. y Manrique-Toala, T. O. (2022). Usos tradicionales del fuego en las actividades agrícolas de la parroquia Convento, cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(2), 319–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21750497.v1>
- Ramos-Rodríguez, M. P., Cedeño-Cedeño, D. S., Batista, A. C., Jimenez-González, A., Manrique-Toala, T. O. y Terro, A. F. (2021). Usos tradicionales del fuego en la Parroquia Ayacucho, cantón Santa Ana, provincia Manabí, Ecuador. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(43), 41–52. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v19i43.5807>
- Ramos, M. (2019). Índices de peligro de incendios forestales (Conferencia). In *I Congreso Internacional De Desarrollo Universitario*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14758233.v1>
- Ramos Rodríguez, M. P., Acosta Tufiño, J. M., Vivar González, J. C., Manrique Toala, T. O. y Jimenez 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://acortar.link/4KpoU4>
- 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., Pico Coronel, O. G., Jimenez González, A., Cantos Cevallos, C. G., Tapia Zúñiga, M. V. y Mero Jalca, O. F. (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), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5607>
- Rissi, M. N., Baeza, M. J., Gorgone-Barbosa, E., Zupo, T. y Fidelis, A. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? *International Journal of Wildland Fire*, 26, 427–433. <https://doi.org/10.1071/WF14210>





- 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. *Revista de Biología Tropical*, 68(2).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i2.33954>
- Soares, R. V. y Batista, A. C. (2007). *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*.
- Soares, R. V., Batista, A. C. y Tetto, A. F. (2017). *Incêndios florestais: controle, efeito e uso do fogo* (Segunda Ed). Gráfica Capital.
- Torres, F. T. P., Silva Júnior, M. R. da, y Lima, G. S. (2019). Influência dos Elementos Meteorológicos Sobre o Comportamento do Fogo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(1), 33–41.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0102-7786334014>

