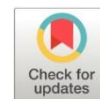


Estimación de carbono orgánico liberado por quema de vegetación en páramo, parroquia San Juan, Chimborazo

Estimation of organic carbon released by burning vegetation in paramo, San Juan parish, Chimborazo

- ¹ Miguel Ángel Guallpa Calva  <https://orcid.org/0000-0001-5392-036X>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
Magíster en Manejo Forestal Sostenible
miguel.guallpa@epoch.edu.ec
- ² Victor German Guaraca Pomagualli  <https://orcid.org/0009-0004-0234-9705>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
Graduado de Ingeniería Forestal
victor.guaraca@epoch.edu.ec
- ³ Andrea Patricia Guapi Auquilla  <https://orcid.org/0000-0003-0711-6391>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
Magíster en Suelos y Nutrición de Plantas
aguapi@epoch.edu.ec
- ⁴ Germán Gonzalo Reinoso Muñoz  <https://orcid.org/0000-0002-4355-3700>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
Magíster en Proyectos de Desarrollo e Inversiones Rurales
german.reinoso@epoch.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/04/2025

Revisado: 17/05/2025

Aceptado: 11/06/2025

Publicado: 04/07/2025

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v7i3.621>

Cítese:

Guallpa Calva, M. Ángel, Guaraca Pomagualli, V. G., Guapi Auquilla, A. P., & Reinoso Muñoz, G. G. (2025). Estimación de carbono orgánico liberado por quema de vegetación en páramo, parroquia San Juan, Chimborazo. *AlfaPublicaciones*, 7(3), 38–59. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i3.621>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

Carbono; suelo;
incendios;
biomasa; necro
masa; materia
orgánica.

Resumen

Introducción. Los ecosistemas de páramo constituyen uno de los reservorios de carbono más importantes de la región de alta montaña, desempeñando un papel fundamental en la regulación del ciclo global del carbono y la mitigación del cambio climático. Estos ecosistemas únicos, caracterizados por su alta capacidad de almacenamiento de carbono tanto en la biomasa vegetal como en los suelos orgánicos, enfrentan crecientes presiones antropogénicas, incluyendo el uso del fuego como herramienta de manejo tradicional. **Objetivo.** Este estudio se centró en estimar el contenido de carbono orgánico liberado por una quema controlada de vegetación en el ecosistema páramo de la comunidad Pasguazo de la parroquia San Juan, provincia de Chimborazo. **Metodología.** El área de estudio consistió de 100,035 m² con 3 transectos transversalmente distribuidos en 6 cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m a una distancia de 2 m entre cuadrante y de estos se dividió 3 para la zona quemada y 3 para la no quemada; se determinó el carbono orgánico total a dos profundidades de 0-5 cm y 5-10 cm, necro masa y biomasa aérea en t ha⁻¹, la intensidad del incendio por cuadrante para determinar el contenido de carbono orgánico liberado, las propiedades fisicoquímicas antes y después de la quema. Se realizó un análisis estadístico, comprobando los supuestos de normalidad e igualdad de varianza para después realizar la prueba t Student. **Resultados.** El estudio realizado demostró que no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas y en el contenido de carbono orgánico pre y post quema, sin embargo, a la profundidad de 0-5 cm la zona quemada presenta una mayor media de carbono total con 18,01 t ha⁻¹ a diferencia de la zona no quemada con 17,84 t ha⁻¹, la intensidad de la quema se categorizó como baja. Finalmente, la caracterización fisicoquímica del suelo evaluado presenta condiciones adecuadas para la regeneración de especies del estrato herbáceo del ecosistema páramo evaluado después de una quema controlada. **Conclusión.** Se determinó que en la zona donde se aplicó la quema controlada a una profundidad de 0 – 5 cm presenta un mayor contenido de carbono con una media de 18,01 t ha⁻¹ a diferencia de la zona no quemada con una media de 17,84 t ha⁻¹. **Área de estudio general:** Ciencias Forestales.

Área de estudio específica: Suelos. **Tipo de estudio:** Artículos originales.

Keywords:

Carbon; soil; fires;
biomass;
necromass;
organic matter.

Abstract

Introduction. The paramo ecosystems are among the most important carbon reservoirs in high mountain regions, playing a fundamental role in regulating the global carbon cycle and mitigating climate change. These unique ecosystems, characterized by their high carbon storage capacity in both plant biomass and organic soils, are facing increasing anthropogenic pressures, including the use of fire as a traditional management tool. **Objective.** This study focused on estimating the organic carbon content released by a controlled vegetation burn in the páramo ecosystem of the Pasguazo community, San Juan parish, Chimborazo province. **Methodology.** The study area covered 100,035 m² and included three transects, each divided transversely into six quadrants measuring 0,5 m x 0,5 m, with 2 meters between each quadrant. Three quadrants were assigned to the burned area and three to the unburned area. Total organic carbon was determined at two depths: 0–5 cm and 5–10 cm, along with necromass and aboveground biomass (in t ha⁻¹), and fire intensity per quadrant to estimate the amount of organic carbon released. Physicochemical soil properties were analyzed before and after the burn. Statistical analysis included testing for normality and homogeneity of variances, followed by a student's t-test. **Results.** The study showed no significant differences in physicochemical properties or organic carbon content before and after the burn. However, at the 0–5 cm depth, the burned area showed a slightly higher mean total carbon content (18.01 t ha⁻¹) compared to the unburned area (17,84 t ha⁻¹). Fire intensity was classified as low. Lastly, the physicochemical characterization of the soil indicated favorable conditions for the regeneration of herbaceous vegetation in the evaluated páramo ecosystem following a controlled burn. **Conclusion.** It was determined that in the area subjected to controlled burning, the 0–5 cm soil layer had a higher mean organic carbon content (18,01 t ha⁻¹) compared to the unburned area (17,84 t ha⁻¹). **General Area of Study:** Forest Sciences. **Specific area of study:** Soils. **Type of study:** Original articles.

1. Introducción

Los páramos constituyen ecosistemas bioclimáticos únicos de las montañas neotropicales caracterizados por ser desarbolados, fríos y dominados predominantemente por procesos naturales (Díaz et al., 2020). Estos paisajes de alta montaña se extienden desde México hasta el norte de Sudamérica, cubriendo aproximadamente el 7% del territorio ecuatoriano a una altura promedio de 3300 m.s.n.m. (Chuncho & Chuncho, 2019). A diferencia de las sabanas africanas o las praderas norteamericanas, los páramos evolucionaron sin la presencia masiva de grandes herbívoros, lo que les confiere características ecológicas distintivas (Hofstede et al., 2023).

El páramo es un ecosistema proveedor de servicios y beneficios ambientales, concretamente de aprovisionamiento, regulación y soporte (Hofstede et al., 2023). Entre sus servicios ecosistémicos más destacados se encuentra la regulación hídrica, la captura y almacenamiento de carbono es sin duda uno de los reservorios de carbono más importantes de los Andes, almacenando cantidades excepcionales de carbono orgánico en sus suelos y vegetación (Hofstede et al., 2023; Buytaert et al., 2006). La profundidad media del suelo de las turberas en las regiones de páramo alcanza los 3,8 m y contiene un almacenamiento medio estimado de carbono de 1282 Mg ha⁻¹, lo que destaca su importante papel en el ciclo global del carbono (Young et al., 2002).

Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica, estos ecosistemas enfrentan diversas amenazas antropogénicas, siendo una de las más significativas el uso del fuego como herramienta de manejo (Ramos et al., 2022). En la región de los Andes, el uso del fuego es una actividad fuertemente relacionada con la conversión de la cobertura terrestre y el mantenimiento de pastos y áreas agrícolas. Continuamente, los agricultores recurren a los incendios como una herramienta efectiva para despejar el suelo antes de realizar actividades agrícolas y agropecuarias (Matson & Bart, 2013).

La vulnerabilidad de las reservas de carbono del páramo a las perturbaciones causadas por incendios es especialmente preocupante, dado el papel de la región en la regulación climática. Los incendios pueden convertir rápidamente siglos de carbono orgánico acumulado en CO₂ atmosférico, lo que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y al cambio climático (Sevink et al., 2013).

Aunque en los últimos años se han realizado diversas investigaciones sobre los efectos de los incendios forestales, existe muy poca información sobre el contenido de carbono orgánico liberado en el ecosistema páramo debido a las quemaduras de vegetación (Carrasco et al., 2019). Este estudio se enfoca en la estimación del carbono orgánico liberado como resultado de la quema de vegetación en el páramo de una comunidad ubicada en la parroquia San Juan, provincia de Chimborazo.

El objetivo fue estimar el carbono orgánico liberado por una quema de vegetación en el ecosistema páramo y analizar las propiedades fisicoquímicas de una quema de vegetación herbácea en los compartimientos biomasa, necro masa y suelo de un ecosistema páramo de la zona central de los Andes del Ecuador. Con el fin de establecer bases para realizar quemas controladas que permitan regular el exceso de vegetación, evitando la competencia con otras especies.

Al estimar la liberación del carbono orgánico, podemos determinar si la intensidad de la quema es la adecuada para no perjudicar al suelo y a la flora existente. A su vez, esta investigación sirve de base para futuros estudios en áreas más extensas y con más especies vegetales, mediante toma de decisiones que conlleven a una quema de forma mucho más técnica.

En los Andes la conversión de la cobertura terrestre y el mantenimiento de pastos y áreas agrícolas están fuertemente relacionados con el uso del fuego y en muchas ocasiones los agricultores mencionan que ellos recurren a los incendios como una herramienta efectiva para despejar el suelo y después realizar sus actividades agrícolas y agropecuarias (Matson & Bart, 2013).

2. Metodología

En este estudio se aplicó los enfoques cuantitativo y cualitativo al realizar una recopilación de datos numéricos para cuantificar el carbono liberado por la quema de vegetación, estimar la intensidad de la quema y caracterizar las propiedades fisicoquímicas del suelo del ecosistema páramo. Cuyo abordaje fue fundamental para establecer estrategias de mitigación del cambio climático porque almacena una gran cantidad de dióxido de carbono y cumple con muchos otros servicios ecosistémicos que benefician a los habitantes de esas zonas.

La investigación corresponde a un nivel descriptivo ya que se recopilaban los resultados del carbono orgánico liberado en la biomasa, necro masa y suelo, se pretendió responder si existe o no un efecto de la quema sobre el contenido de carbono orgánico del ecosistema páramo y así aportar en avances de proyectos de investigación respecto a la liberación de carbono orgánico mediante quemas controladas en la región Sierra en Ecuador.

Para la recolección de las muestras de necro masa pre y post quema se tomó del peso verde de necro masa (hojarasca) y la que está en proceso de descomposición; para la recolección de las muestras de biomasa aérea pre y post quema se tomó del peso verde de la vegetación y para la recolección de muestras de suelo pre y post quema se tomó muestras de cada cuadrante a 2 profundidades de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm como se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Codificación, zona y profundidad de las áreas de muestreo de suelo del páramo de la comunidad de Pasguazo

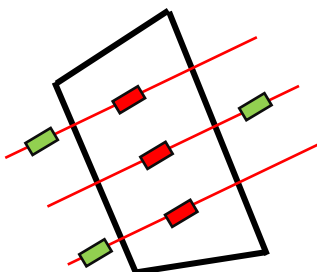
Zona	Codificación	Profundidad
Quemada	V1	C1P1
	V2	C1P2
	V3	C2P1
	V4	C2P2
	V5	C3P1
	V6	C3P2
No Quemada	V7	C1P1
	V8	C1P2
	V9	C2P1
	V10	C2P2
	V11	C3P1
	V12	C3P2

La investigación se realizó en el páramo de la comunidad de Pasguazo parroquia San Juan provincia de Chimborazo a una latitud: -1.742125 y longitud: -78.718881, con una altitud que va desde 3160 msnm – 6210 msnm, la precipitación va desde 500mm - 100 mm, temperatura de 12° a 16° datos del GAD San Juan, 2015.

En un área de 100,035 m² se instalaron tres transectos transversalmente que atravesaron toda el área de terreno. Utilizando la metodología de Suárez et al. (2016) cada transecto se dividió en dos cuadrantes de 0,50 m por 0,50 m con una distancia de 2 metros entre ellos, y se dividieron 3 cuadrantes para la zona quemada y 3 cuadrantes para la zona no quemada como se ve en la **Figura 1**.

Figura 1

Distribución de los cuadrantes para la recolección de las muestras



2.1. Estimación de contenido de carbono orgánico de necro masa y la biomasa

Se calculó el contenido de humedad, luego de pesar las muestras en húmedo se obtiene el peso seco poniéndolo en el horno mufla a una temperatura de 60°C de 48 a 72 horas.

Según lo que establece Serrato et al. (2014) menciona que para calcular la biomasa primero se debe calcular el contenido de humedad mediante la siguiente **ecuación (1)**:

$$CH = pfs - Pss/Pfs * 100 \text{ (1)}$$

Posterior a ello se aplicó la siguiente **ecuación (2)**:

$$B(ton) = (Pft) - (Pft * CH)/1000000 \text{ (2)}$$

Serrato et al. (2014) también menciona que al contenido de carbono y necro masa se considera que la mitad de biomasa seca corresponde a la cantidad de carbono presente, como se observa en la siguiente **ecuación (3)**:

$$CC \text{ (Ton C/ha)} = B * 0.5 \text{ Tmm} \text{ (3)}$$

2.2. Estimación del contenido de carbono orgánico del suelo

Se realizó mediante el método de calcinación de Schulte & Hopkins (1996). A partir del valor obtenido para la materia orgánica se aplicó el factor Van Bemmelen de 1.1724 para calcular el porcentaje de carbono orgánico del suelo (Minasny et al., 2020), basándose en la suposición de que el 58% de materia orgánica está compuesta de carbono (**ecuación 4**).

$$\%CO = \frac{\%MO}{1.1724} \text{ (4)}$$

También Chuncho & Chuncho (2019) mencionan que para el contenido de carbono orgánico se lleve a cabo una estimación mediante el cálculo de carbono orgánico del suelo (COS) en toneladas por hectárea (**ecuación 5**).

$$COS \left(\frac{\text{Ton C}}{\text{ha}} \right) = \%CO * Da * Prof * 100 \text{ (5)}$$

2.3. Cálculo del contenido de carbono orgánico total de la zona de estudio

Ayala et al. (2014) aplicó la fórmula que consiste en que el carbono total es la suma total del carbono liberado en la necro masa, biomasa aérea y suelo, expresado en toneladas por hectárea (**ecuación 6**).

$$CT = COS + CCN + CCB \text{ (6)}$$

2.4. Intensidad lineal de fuego

Para cuantificar la intensidad lineal de fuego se utilizó la fórmula de Byram en donde establece (**ecuación 7**):

$$I = H * w * r \text{ (7)}$$

Donde h es el poder calorífico inferior del combustible, W es la carga consumida y r es la velocidad de propagación (Vega et al., 2000).

Para la interpretación de la intensidad lineal del fuego se establecer la escala como se ve en la **Tabla 2** basada en los datos del estudio del poder calorífico de Carlos Kunst (2011).

Tabla 2

Clasificación de fuegos en función de su intensidad

Intensidad del frente de fuego (kW*m ⁻¹)	Longitud de llamas (m)	Intensidad de fuego
0-258	0-1	Fuegos ‘fríos’. Control mediante herramientas manuales. Fuegos prescritos bajo dosel de pino.
258-2800	1 – 3	Fuegos ‘calientes’. Control mediante cortafuegos y maquinaria. Fuegos prescritos en pastizales.
Más de 2800	Más de 3 m	Fuego en copas de los árboles ('Coronamiento'). Control mediante ataque indirecto.

Fuente: Kunst (2011)

2.5. Velocidad de propagación del fuego

Se considera como la velocidad de avance del frente (m/min o km/h o m/s) hacia delante, hacia atrás o en los flancos como se ve en la **Tabla 3** (Blanco et al., 2008).

Tabla 3

Velocidad de propagación del fuego

Velocidad de propagación	m/min	km/h
Lenta hasta	2	0.1
Media hasta	10	0.6
Media-alta hasta	34	2
Alta hasta	83	5
Extrema si más de	83	5

Fuente: Blanco et al. (2008)

Para determinar la tasa de propagación se empleó el modelo por propuesto por Rothermel (1972) además este se basa en la teoría de conservación de la energía basado en la observación de Trabaud (1979) para estimar la velocidad de propagación se debe conocer la velocidad del viento, y la altura de vegetación:

$$r = 0,066 * V^{0,439} * h_v^{0,345} \quad (8)$$

$$r = \frac{5,72 * V^{0,400} * h_y^{0,345}}{U^{1,12}} \quad (9)$$

Donde:

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

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

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

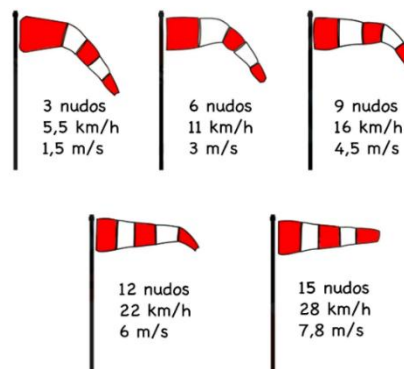
U = contenido de humedad de la vegetación, representada en % del peso verde (Giler, 2020).

2.6. Velocidad del viento

Se adaptó la metodología de la manga de viento (**Figura 2**), reemplazándola con una cinta de marcaje, para según la posición en la que esta se encuentre establecer la velocidad media del viento del lugar de estudio.

Figura 2

Metodología de la manga



Fuente: Ferreiro & Sendra (2008)

2.7. Poder calorífico

Se calculó mediante la fórmula de GOUTAL donde se calculó de los resultados de contenido de humedad, materiales volátiles, cenizas y carbono fijo (Godoy, 2022).

$$PC = 82c + AV \text{ Kcal kg}^{-1} \quad (10)$$

2.8. Cálculo del material volátil

Se tomó en cuenta las normas ASTM (Norma D3175-89(02)) internacional

$$\%MV = \left(\frac{C-D}{D} * 100 \right) - \%HUMEDAD \quad (11)$$

2.9. Cálculo del contenido de cenizas

Se tomó en cuenta las normas ASTM (Norma D3175-89(02)) internacional empleando la siguiente ecuación:

$$\%C = \left(\frac{A-B}{C} \right) * 100 \quad (12)$$

2.10. Carbono fijo

Se tomó en cuenta las normas ASTM (Norma D3175-89(02)) internacional empleando la siguiente ecuación

$$CF = 100 - (\% HUMEDAD + \% MATERIAL VOLÁTIL + \% DE CENIZAS) \quad (13)$$

2.11. Propiedades físicas del suelo

La propiedad del color se determinó mediante el método de Munsell, textura (método de Bouyoucos), densidad aparente en g cm⁻³(cilindro biselado), densidad real g cm⁻³(método del picnómetro), porosidad (relación entre densidad aparente y densidad real).

2.12. Propiedades Químicas

Nitrógeno (método de Kjeldahl), fósforo y potasio (método de Olsen)

Las propiedades físicas y químicas indicadas se determinaron en el Laboratorio de suelos de la facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.13. Análisis estadístico

Se probó el comportamiento de todas las variables, al verificar que, si se cumple el supuesto de normalidad, igualdad de variancia se aplicó el ADEVA en el programa INFOSTAT.

3. Resultados

En la investigación se analizó el efecto de la quema de la vegetación en el páramo sobre la liberación de carbono orgánico en la parroquia San Juan, Chimborazo. En este apartado, se presentan los resultados obtenidos, los cuales evidencian el efecto de la quema sobre la necromasa y biomasa, el contenido de carbono orgánico, las propiedades físicas y químicas del suelo.

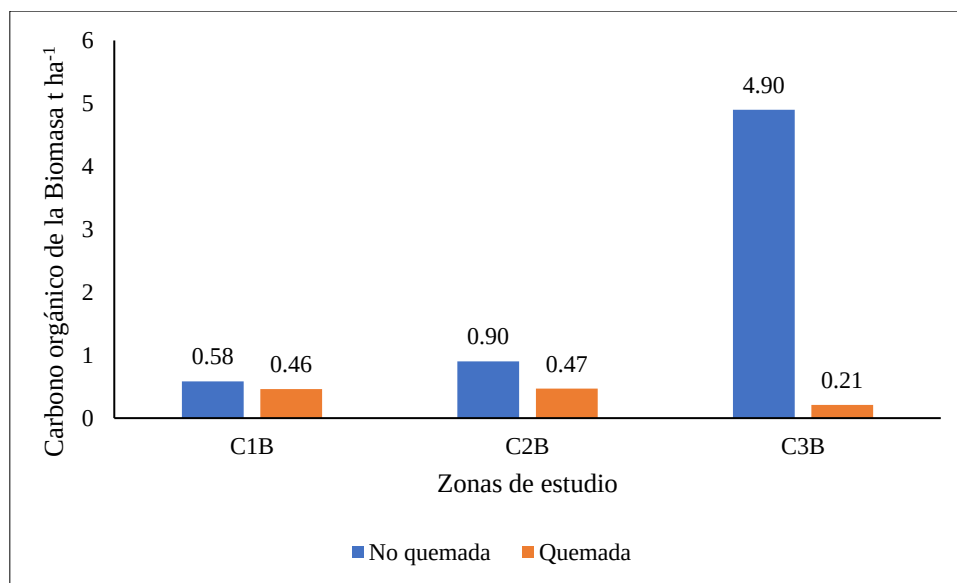
3.1. Necro masa y biomasa

Como se observa en la **Figura 3** en la zona no quemada en lo que corresponde a la biomasa el que presenta mayor valor se encuentra en el cuadrante 3 con un valor de $4,90 \text{ t ha}^{-1}$ y el de menor valor se encuentra en el cuadrante 2 con un valor de $0,90 \text{ t ha}^{-1}$; así mismo en la zona quemada el que presenta mayor carbono orgánico está en el cuadrante 2 con un valor de $0,47 \text{ t ha}^{-1}$ y el de menor valor en el cuadrante 3 con un valor de $0,21 \text{ t ha}^{-1}$.

El contenido de carbono en la biomasa posee un promedio de $2,51 \text{ t ha}^{-1}$, de este valor $2,13 \text{ t ha}^{-1}$ corresponde a la zona no quemada y $0,38 \text{ t ha}^{-1}$ a la zona quemada existiendo una disminución del $1,75 \text{ t ha}^{-1}$. Esto se asemeja con lo obtenido por Eguiguren et al. (2015) en su estudio en los páramos de PNP donde señala que el carbono de la biomasa encontrada en el páramo herbáceo con un valor de $2,9 \text{ t ha}^{-1}$. En el páramo de Pasguazo encontramos pajonal perteneciente a una vegetación de tipo herbáceo.

Figura 3

Comparación del carbono orgánico presente en la biomasa de un páramo de la comunidad Pasguazo

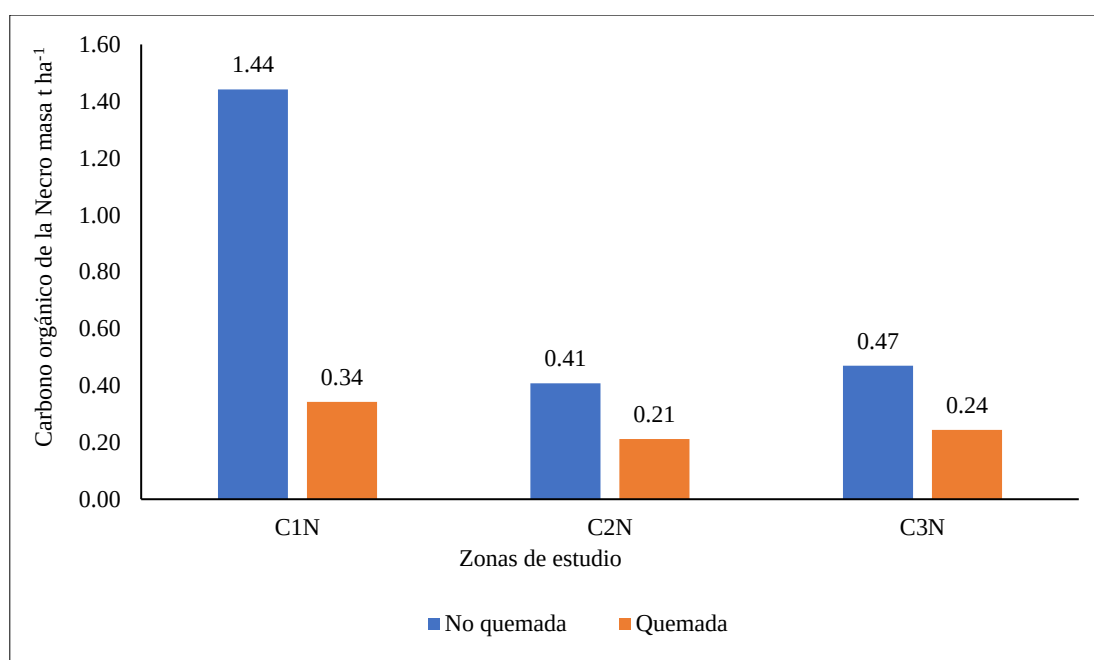


Como se observa en la **Figura 4** con respecto a la necro masa en la zona no quemada el que presenta mayor valor se encuentra en el cuadrante 1 con un valor de $1,44 \text{ t ha}^{-1}$ y el de menor valor en el cuadrante 2 con un valor de $0,41 \text{ t ha}^{-1}$; a su vez en la zona quemada el que presenta mayor valor con respecto a la necro masa está en el cuadrante 1 con $0,34 \text{ t ha}^{-1}$ y el de menor valor en el cuadrante 2 con $0,21 \text{ t ha}^{-1}$.

El contenido de carbono en la necro masa posee un promedio $1,04 \text{ t ha}^{-1}$ correspondiente a la zona no quemada $1,45 \text{ t ha}^{-1}$ y $0,32 \text{ t ha}^{-1}$ a la quemada. Esto se corrobora con lo obtenido por Eguiguren et al. (2015) en su estudio en los páramos de PNP donde señala que el carbono de necro masa encontrada en el páramo herbáceo con un valor de $2,9 \text{ t ha}^{-1}$.

Figura 4

Comparación del carbono orgánico presente en la necro masa de un páramo de la comunidad Pasguazo



3.2. Carbono orgánico t ha^{-1}

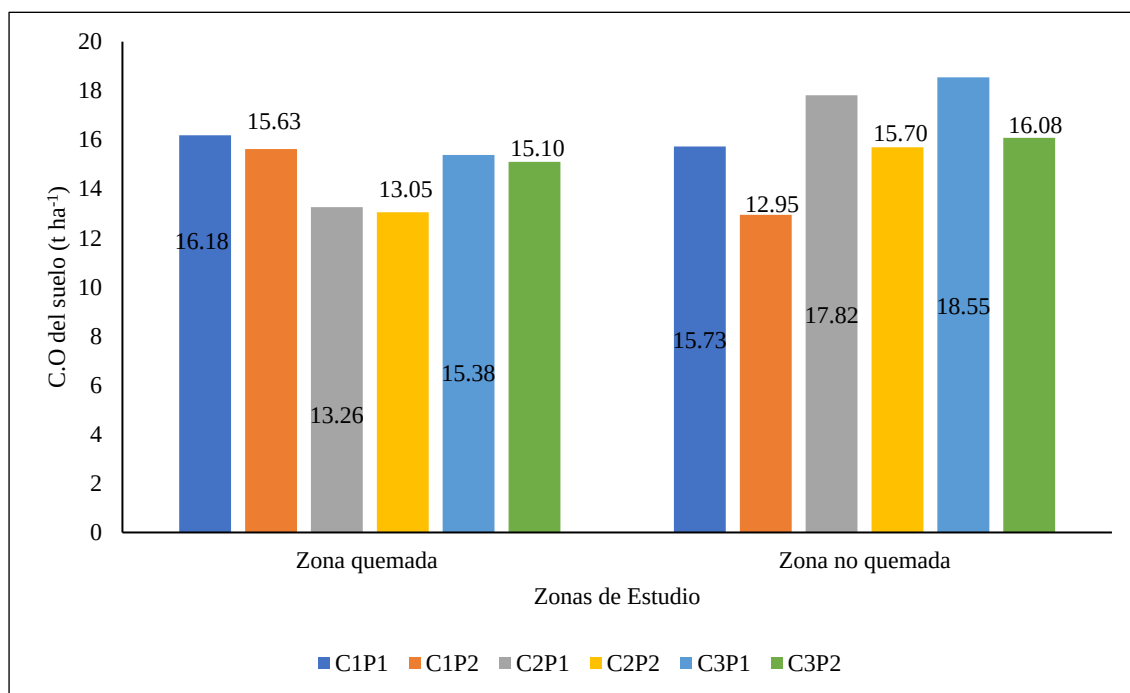
Como se observa en la **Figura 5** a una profundidad de 0-5 cm en la zona quemada cuadrante 1 se presenta el valor máximo de carbono orgánico $16,18 \text{ t ha}^{-1}$ y un valor mínimo de $13,05 \text{ t ha}^{-1}$ correspondiente al cuadrante 2 a una profundidad de 5-10 cm y para la zona no quemada un valor máximo de $18,55 \text{ t ha}^{-1}$ en el cuadrante 3 a una profundidad de 0-5 cm y un valor mínimo en el cuadrante 1 a una profundidad de 5-10 cm con un valor de $12,95 \text{ t ha}^{-1}$.

De acuerdo con Mena & Ortega (2020) existe gran cantidad de materia orgánica localizada en los suelos de los páramos y eso se ratifica con los resultados en la **Figura 5**. con un promedio de $14,77 \text{ t ha}^{-1}$ para la zona quemada y $16,14 \text{ t ha}^{-1}$ para la no quemada; a su vez Ayala et al. (2014) indican que debido a la descomposición de materia orgánica lenta, existe una gran cantidad de carbono almacenado en una capa gruesa de hojarasca, donde como es el caso de los páramos de El Ángel, hasta dos metros de profundidad,

donde se tiene una concentración de materia orgánica. También menciona que a medida que se profundiza el muestreo en páramos herbáceos el contenido de MO y CO disminuye corroborando con nuestros resultados en la **Figura 5**.

Figura 5

Comparación del carbono orgánico presente en el suelo del ecosistema páramo de la comunidad de Pasguazo



3.3. Carbono orgánico total del área de estudio

Como puede apreciarse en la prueba t- Student **Tabla 4** el valor t con un alfa de 0,05 y 6 grados de libertad es de 0,907 siendo este valor mayor que el alfa, aceptando así la hipótesis nula en donde la quema de vegetación tiene un efecto similar sobre el contenido de carbono orgánico del ecosistema páramo de la comunidad de Pasguazo a una profundidad de 0-5 cm. Para el contenido total de carbono orgánico a una profundidad de 5-10 cm el valor fue de 0,215 siendo este mayor que el alfa de 0,05 aceptando así la hipótesis nula en donde la quema de vegetación tiene un efecto similar sobre el contenido de carbono orgánico del ecosistema paramó de la comunidad de Pasguazo.

Tabla 4

Prueba t-Student del contenido de carbono orgánico total en el ecosistema páramo de la comunidad de Pasguazo

	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de confianza de la diferencia	
						Inferior	Superior
Cos total (0-5cm) Se asumen varianzas iguales	0,12	6	0,907	0,16	1,37	-3,19	3,53
Cos total (5-10) Se asumen varianzas iguales	- 1,385	6	0,215	-1,94	1,4	-5,37	1,48

3.4. Intensidad de la quema

La comunidad de Pasguazo presento una intensidad de quema baja, esta no presento un efecto estadísticamente diferente entre la pre y post quema, esto se justifica con lo mencionado por Mena & Ortega (2020) los incendios de baja intensidad son de pequeño impacto y promueven la vegetación herbácea, incrementan la disponibilidad de nutrientes.

La **Tabla 5** muestra la información correspondiente a la velocidad de propagación (r), poder calorífico (H) e intensidad de la quema del páramo de la comunidad de Pasguazo.

Tabla 5

Características de propagación de fuego (r), poder calorífico, nivel e intensidad de la quema

Codificación	r m s ⁻¹	PC Kcal/Kg	Intensidad de la quema Kcal /m s	Nivel de Intensidad
V1	0,018	1636,85	2,6	Muy Bajo
V2	0,018	2751,01	16,5	Muy Bajo
V3	0,018	1984,03	5,5	Muy Bajo
V4	0,018	2714,22	4,5	Muy Bajo
V5	0,018	1627,78	21,8	Muy Bajo
V6	0,018	1761,58	2,4	Muy Bajo

Tabla 5

Características de propagación de fuego (r), poder calorífico, nivel e intensidad de la quema (continuación)

Codificación	r m s ⁻¹	PC Kcal/Kg	Intensidad de la quema Kcal /m s	Nivel de Intensidad
V7	0,018	2811,22	5,5	Muy Bajo
V8	0,018	4981,10	29,4	Muy Bajo
V9	0,018	2869,23	5,9	Muy Bajo
V10	0,018	5201,20	22,0	Muy Bajo
V11	0,018	1909,04	1,2	Muy Bajo
V12	0,018	3701,53	6,3	Muy Bajo

r= Velocidad de propagación del fuego; PC= Poder calorífico

3.5. Propiedades físicas del suelo

Textura, color y % de Porosidad. El páramo de Pasguazo posee una textura franco limosa y franco arenoso, el color va de 10YR 2/1 (Negro) hasta 10YR 3/1 (Pardo Oscuro), a su vez Celis et al. (2015) menciona que las sustancias resultantes de la descomposición de la materia orgánica se oxidan y adquieren una coloración oscura; también posee una porosidad de 45,76%. Según Carúa et al. (2008) en su estudio los suelos de páramo tenían una textura franco arenosa, ya que su origen fue resultado de varias erupciones volcánicas. En Ecuador y Colombia los suelos de páramo se consideran de origen volcánico según Llambí et al. (2012) el color de los suelos de los páramos posee tonalidades muy oscuras debido a la alta presencia de materia orgánica del suelo y la porosidad para un suelo de páramo intervenido (comprendiendo al tipo de páramo que fue intervenido por animales de pastoreo o maquinaria) varía entre valores del 48% al 54%, corroborando así los resultados obtenidos en la presente investigación.

Densidad aparente (g cm⁻³). La densidad aparente promedio del páramo de la comunidad Pasguazo fue de 1,15 g cm⁻³ y según menciona Llambí et al. (2012) los suelos de páramo se caracterizan por una baja densidad aparente inferior a la del agua (1 g cm⁻³) oscilando entre los rangos de 0,4 y 0,8 g cm⁻³. A su vez Hofstede et al. (2023) mencionan que valores mayores de densidad aparente son ocasionados por alteraciones en la estructura del suelo, como la ocasionada por la compactación provocada por el pisoteo de los animales de pastoreo, esto concuerda con los residuos de excremento encontrado en algunas muestras de suelo.

Densidad real (g cm^{-3}). La densidad real del páramo de la comunidad de Pasguazo presenta un valor promedio de $2,15 \text{ g cm}^{-3}$, lo que se asemeja a lo mencionado por Llambí et al. (2012) estableciendo que la densidad real asume un valor fijo de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.

3.6. *Propiedades Químicas del suelo*

Potencial de Hidrogeno pH. El pH en el páramo de Pasguazo en la zona quemada oscila un promedio de 5,95 a diferencia del pH en la zona no quemada de 5,70 son resultados superiores a los obtenidos en la investigación que realizaron en el páramo de Chingaza de (3,7 – 5,5) (Cárdenas, 2013). Según menciona Varela et al. (2007) los valores de pH en los suelos quemados usualmente se incrementan debido a la reducción de ácidos orgánicos y al aporte de cenizas con carácter alcalino, y estos se producen cuando la intensidad de un incendio es alta, produciendo una gran combustión de la materia orgánica del suelo.

Conductividad Eléctrica. La conductividad eléctrica en el páramo de Pasguazo para la zona quemada determinó un promedio de $126,92 \mu\text{S cm}^{-1}$ a diferencia de la zona no quemada con una media de $123,36 \mu\text{S cm}^{-1}$, a su vez Guaraca (2024) en su estudio reporto para la conductividad eléctrica $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el sitio donde hubo una quema, aunque no significativa con respecto a la no quemada $200 \mu\text{S cm}^{-1}$. Celis et al. (2015) mencionan que esto puede suceder ya que la conductividad eléctrica al exponerse a temperaturas puede aumentar por la incorporación de sales solubles procedentes de la combustión de la materia orgánica.

Nitrógeno NH_4^+ . En la zona no quemada se presentó una media de 13,79 ppm de nitrógeno, mientras que en la zona quemada se determinó un promedio de 16,84 ppm de nitrógeno, Hofstede et al. (2003) mencionan que cuando la descomposición del suelo sea lenta, el nitrógeno mineral baja. En el páramo de Pasguazo el promedio de nitrógeno encontrado es de 15,39 ppm correspondiente a un nivel bajo esto debido a que estos presentan una alta cantidad de materia orgánica, pero debido a las bajas temperaturas presenta una descomposición lenta del suelo.

Fósforo P. En la zona quemada en el cuadrante 3 se obtuvo una media de 10,16 ppm de fósforo y en la zona no quemada un valor de 12,71 ppm. El fósforo del páramo de Pasguazo oscila en promedio considerable de 11,47 ppm considerado en un nivel bajo y según menciona Quinteros et al. (2013) en sus estudios sobre la comparación química de suelos en PNC establecen que, en suelos de páramo por la lenta descomposición de la materia orgánica, estos retienen nutrientes dentro de su estructura; esto sucede específicamente con el fósforo.

Potasio K^+ . El K^+ en la zona quemada posee un promedio de $0,36 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ en cambio en la zona no quemada un valor de $0,29 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ ambos correspondientes a un nivel

bajo, con un valor similar al que determinaron Gualan & Orbe (2019) en el páramo de pestillo donde se encontró un nivel bajo $0,33 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ de k en la zona afectada (quemada) y muy bajo en la zona no afectada $0,25 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (no quemada).

4. Conclusiones

- La quema controlada de baja intensidad ($10,3 \text{ kcl/m s}$) en el páramo de Pasguazo demostró una liberación moderada de carbono orgánico, con un promedio de $14,77 \text{ t ha}^{-1}$ para la zona quemada y $16,14 \text{ t ha}^{-1}$ para la no quemada, lo que indica que una fracción significativa del carbono se incorporó al suelo en forma de cenizas y materia orgánica parcialmente carbonizada.
- La disminución significativa en la biomasa y necromasa del suelo de páramo podría comprometer temporalmente la función del ecosistema como sumidero de carbono, la conservación de las propiedades fisicoquímicas del suelo y el ligero incremento en el contenido de carbono edáfico indican una capacidad de resiliencia notable que preservar este tipo de ecosistema.

5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

8. Referencias bibliográficas

- Ayala, L., Villa, M., Aguirre, Z., & Aguirre, N. (2014). Cuantificación del carbono en los páramos del Parque Nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *Cedamaz*, 4(1).
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/237/220>.
- Blanco, J., García, D., Castellnou, M., Molina, D., Grillo, F., Pous, E. (2008). *Curso básico de incendios forestales destinado a personal de operaciones de extinción*. Universitat de Lleida. <https://www.researchgate.net/publication/238746577>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>

- Cárdenas, C. de los Á. (2013). *El fuego y el pastoreo en el páramo húmedo de Chingaza (Colombia): efectos de la perturbación y respuestas de la vegetación* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España]. https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2013/hdl_10803_120219/cac1de1.pdf
- Carrasco R., T., & Nuñez Moreno, M. S. (2019). Los incendios forestales y su impacto ambiental en reservas ecológicas.. *Explorador Digital*, 3(3), 104-113. <https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v2i1.324>
- Carúa, J., Proaño, M., Suárez, D., & Podwojewski, P. (2008). Determinación de retención de agua en los suelos de los páramos: estudio de caso en la subcuenca del río San Pedro, Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador. In *Serie Páramo* (Issue 26). https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/010047425.pdf
- Celis, R., Jordán, A., & Zavala, L. (2015). Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. *Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação Dos Solos*. https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros_livros/viiegfa/Artigo_12_Reyes_de_Celis.pdf
- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2). https://drive.google.com/file/d/1_m4ZobqzjfgTfv2S3CvB4AIjSh5ILPnS/view
- Díaz Acevedo, C. J., Romero-Alarcon, L. V., & Miranda-Esquivel, D. R. (2020). Páramos Neotropicales como unidades biogeográficas. *Revista de Biología Tropical*, 68(2). <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.39347>
- Eguiguren, P., Santín, A., V., Vidal, E., & Aguirre, N. (2015). Reservorios de carbono en los páramos del Parque Nacional Podocarpus. En: Aguirre, N., Ojeda-Luna, T., Eguiguren Velepucha, P., & Aguirre, Z. (Editores), *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador* (pp. 211-220). https://redgloria.condesan.org/wp-content/uploads/2021/01/Nikolay-et-al-2015.-Libro_Cambio-climatico-y-biodiversidad-Parque-Nacional-Podocarpus_Optimized.pdf#page=213
- Ferreiro, D. G., & Sendra, J. B. (2008). Generación de un mapa de vientos en un sig. In *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (Issue 47). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2029/1942>
- Giler Rivera, L. X. (2020). *Comportamiento del fuego en combustibles superficiales de una plantación de Eucalyptus sp. en Santa Ana, Manabí, Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador].

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5586/1/iniapeeptesisLGILER2020.pdf>

Godoy Valdiviezo, P. C. (2022). *Análisis del poder calorífico de Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor para la elaboración del carbón en el cantón Guano, provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador].

<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/663acc6f-8149-450c-8b02-8e5f369a2253/content>

Gualan, A., & Orbe, K. (2019). *Plan de reforestación de zonas afectadas por incendios forestales nivel 2 en la comunidad Pesillo - cantón Cayambe* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17695/1/UPS%20-%20ST004289.pdf>

Guaraca Pomagualli, V. G. (2024). *Estimación de carbono orgánico liberado por una quema de vegetación en el ecosistema paramo de una comunidad en la parroquia san juan provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador].

<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/9f9d86fa-3d10-4d76-a540-ffe61da1f102/content>

Hofstede, R., Mena, P., & Suárez, E. (2023). Los páramos del Ecuador: pasado, presente y futuro. In *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro*.

<https://doi.org/10.18272/usfqpress.71>

Kunst, C. (2011). Ecología y uso del fuego en la región Chaqueña Argentina: una revisión. *Boletín De*, 10(10).

https://www.researchgate.net/publication/277178374_Ecologia_y_uso_del_fuego_en_la_region_chaquena_Argentina

Llambí, L. D., Soto-W, A., Céleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Páramos Andinos Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino*. Monsalve Moreno.

https://www.researchgate.net/publication/263280481_Ecologia_Hidrologia_y_Suelos_del_Paramos

Matson, E., & Bart, D. (2013). Interactions among fire legacies, grazing and topography predict shrub encroachment in post-agricultural páramo. *Landscape Ecology*, 28(9). <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9926-5>

- Mena Lojan, L. F., & Ortega Avilés, A. A. (2020). *Determinación del protocolo para quemas experimentales simulando incendios forestales con diferentes intensidades, en suelos extraídos de las zonas: parque metropolitano "guangüiltagua", "cerro ungüi y páramo de paquiestancia - Cayambe", a nivel de laboratorio* [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18607/1/UPS%20-%20ST004521.pdf>
- Minasny, B., McBratney, A. B., Wadoux, A. M., Akeeb, E. N., & Sabrina, T. (2020). Precocious 19th century soil carbon science. *Geoderma Regional*, 22, e00306.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00306>
- Quinteros, P., Piercosimo, T., & Rafaella, A. (2013). *Comparación química de suelos en distintas coberturas vegetales del PNC mediante métodos de clúster análisis*. □ Editorial ABYA-YALA - Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11169>
- Ramos Veintimilla, R. A., Vera Vélez, R., Grijalva Olmedo, J. E., & Ramos Veintimilla, M. R. (2022). Carbono en el suelo de bosque secundario y pasturas. *ConcienciaDigital*, 5(3.2), 91-106.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2.2322>
- Rothermel, R. C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels* (Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, & US Department of Agriculture., Eds.; Vol. 115).
https://play.google.com/books/reader?id=27n_RugVVK0C&pg=GBS.PP6&hl=es
- Schulte, E. E., & B. G. (1996). *Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition* (Hopkins 1st edition). SSSA Special Publication Series (pp. 21-31).
<https://doi.org/10.2136/sssaspepub46.c3>
- Serrato Cuevas, R., Adame Martínez, S., López García, J., & Flores Román, D. (2014). Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 29-45.
<https://doi.org/10.22490/21456453.905>
- Sevink, J., Tonneijck, F. H., Kalbitz, K., & Cammeraat, E. L. H. (2013). Dinámica del carbono en los ecosistemas de páramo de los Andes neotropicales: Revisión de literatura sobre modelos y parámetros relevantes. *Journal of Arid Environments*, 49(2). <https://hdl.handle.net/11245/1.415726>
- Suárez Duque, D., Acurio, C., Chimbolema, S., & Aguirre, X. (2016). Análisis del carbono secuestrado en humedales altoandinos de dos áreas protegidas del

Ecuador. *Ecología Aplicada*, 15(2), 171-177.

<https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.756>

Trabaud, L. (1979). Etude du comportement du feu dans la Garrigue de Chêne kermès à partir des températures et des vitesses de propagation. In *Annales Des Sciences Forestieres. EDP Sciences.*, 36(1), 13–38. https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/1979/01/AFS_0003-4312_1979_36_1_ART0002.pdf

Varela, M. E., Rodríguez Allires, M., & Benito, E. (2007). Impacto del fuego en la degradación física de dos suelos forestales en Galicia. *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 32. https://www.researchgate.net/publication/277106129_Impacto_del_fuego_en_la_degradacion_fisica_de_dos_suelos_forestales_en_Galicia

Vega, J. A., Pérez-Gorostiaga, P., Cuiñas, P., Alonso, M., Fontúrbel, M. T., Fernández, C., & Rozados, M. J. (2000). Patrones espaciales de temperaturas en el tronco y copa de P. Pinaster durante fuegos prescritos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 9, 91–99. https://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9186/9104

Young, K. R., Ulloa Ulloa, C., Luteyn, J. L., & Knapp, S. (2002). Plant evolution and endemism in Andean South America: an introduction. *Botanical Review*, 68(1), 4-21. <https://www.jstor.org/stable/4354408>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Open policy finder
Formerly Sherpa services