


Artículo Original

Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo en la zona de amortiguamiento del PANACOMA, Comayagua, Honduras

Effects of wildfires on soil properties in the PANACOMA buffer zone, Comayagua, Honduras


Erick Fernando Varela Benavidez*

Ingeniero en Ciencias Forestales, Investigador independiente, Honduras

 ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8867-8518>

Jairon Isidro Castellanos Hernández

Docente/investigador, Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), Siguatepeque, Honduras

 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0321-1324>

*Autor correspondiente: varelaerick819@gmail.com

Recepción: abril de 2026. **Aceptación:** mayo de 2026. **Publicación:** junio de 2026.

Como citar: Varela Benavidez, E. F., & Castellanos Hernández, J. I. (2026). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo en la zona de amortiguamiento del PANACOMA, Comayagua, Honduras. *TATASCÁN*, 34 (1), 31–40. <https://doi.org/10.5377/tatascn.v34i1.22936>

Resumen: La presente investigación evaluó los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Montaña de Comayagua (PANACOMA), Honduras. Se empleó un diseño no experimental, comparativo y correlacional, mediante el análisis de cinco parcelas afectadas por incendios y cinco parcelas sin antecedentes recientes de fuego. Se evaluaron propiedades físicas (densidad aparente, densidad real y porosidad), químicas (pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) y condiciones asociadas a la actividad biológica del suelo.

Los resultados evidenciaron variaciones entre suelos afectados y no afectados por incendios forestales. Las parcelas quemadas presentaron, en promedio, una ligera disminución de la densidad aparente y un incremento de la porosidad, mientras que las propiedades químicas mostraron respuestas más marcadas, destacando aumentos temporales de pH y nutrientes básicos asociados a la deposición de cenizas en incendios recientes. Asimismo, las parcelas con incendios de mayor severidad evidenciaron reducción de materia orgánica y alteraciones en condiciones asociadas a la recuperación biológica del suelo.

Se concluye que los incendios forestales generan alteraciones diferenciadas en las propiedades edáficas del PANACOMA, cuya magnitud depende de la severidad y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del fuego. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer estrategias de restauración ecológica y manejo sostenible para favorecer la recuperación de la fertilidad y resiliencia del suelo.

Palabras clave: Incendios forestales, suelo, degradación edáfica, PANACOMA, restauración ecológica, fertilidad del suelo.

Abstract: This study evaluated the effects of wildfires on the physical, chemical, and biological properties of the soil in the buffer zone of the Montaña de Comayagua National Park (PANACOMA), Honduras. A non-experimental, comparative, and correlational design was employed, involving the analysis of five plots affected by fire and five plots with no recent history of fire. Physical properties (bulk density, true density, and porosity), chemical properties (pH, organic matter, organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium), and conditions associated with soil biological activity.

The results revealed differences between soils affected and unaffected by forest fires. The burned plots showed, on average, a slight decrease in bulk density and an increase in porosity, while chemical properties exhibited more pronounced responses, notably temporary increases in pH and basic nutrients associated with ash deposition from recent fires. Similarly, plots affected by more severe fires showed a reduction in organic matter and changes in conditions related to the biological recovery of the soil.

It is concluded that wildfires cause distinct changes in the edaphic properties of the PANACOMA, the extent of which depends on the severity of the fire and the time elapsed since it occurred. These findings highlight the need to strengthen ecological restoration and sustainable management strategies to promote the recovery of soil fertility and resilience.

Keywords: Forest fires, soil, soil degradation, PANACOMA, ecological restoration, soil fertility.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen uno de los principales disturbios ecológicos que afectan los ecosistemas terrestres, alterando significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como su capacidad para sostener procesos de regeneración vegetal y funcionamiento ecosistémico (Certini, 2005; Agbeshie et al., 2022). En las últimas décadas, la frecuencia e intensidad de estos eventos ha incrementado debido al cambio climático y a las actividades antropogénicas, generando impactos importantes sobre la fertilidad del suelo, la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos (IPCC, 2019; Agbeshie et al., 2022).

El fuego modifica directamente la estructura y composición del suelo mediante la combustión de la materia orgánica y la deposición de cenizas. Entre los principales efectos reportados se encuentran alteraciones en la densidad aparente, porosidad, pH y disponibilidad de nutrientes como calcio, potasio y fósforo (Rai et al., 2023; Johnson et al., 2024). Aunque algunos nutrientes pueden incrementarse temporalmente después del incendio, la pérdida de materia orgánica, la volatilización de nitrógeno y la reducción de la actividad microbiana pueden disminuir progresivamente la fertilidad y capacidad de recuperación del suelo (Panico et al., 2020; Arunrat et al., 2024).

La magnitud de estos efectos depende de factores como la severidad del incendio, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y el tiempo transcurrido desde la ocurrencia del fuego. Los incendios de baja severidad pueden favorecer procesos temporales de liberación de nutrientes, mientras que los incendios de alta severidad generan degradación estructural, compactación y disminución de la estabilidad de agregados del suelo (Vahedifard et al., 2024). Asimismo, la recurrencia frecuente de incendios puede acelerar procesos de erosión y degradación edáfica, comprometiendo la resiliencia de los ecosistemas forestales.

En Honduras, los incendios forestales representan una problemática recurrente, particularmente en áreas protegidas dominadas por bosques de pino. La zona de amortiguamiento del Parque Nacional Montaña de Comayagua (PANACOMA) ha registrado una alta incidencia de incendios en los últimos años, afectando coberturas forestales, áreas agrícolas y recursos asociados al suelo. Sin embargo, los estudios locales orientados a evaluar los efectos del fuego sobre las propiedades edáficas continúan siendo limitados, especialmente aquellos que integran variables físicas, químicas y biológicas bajo condiciones de campo.

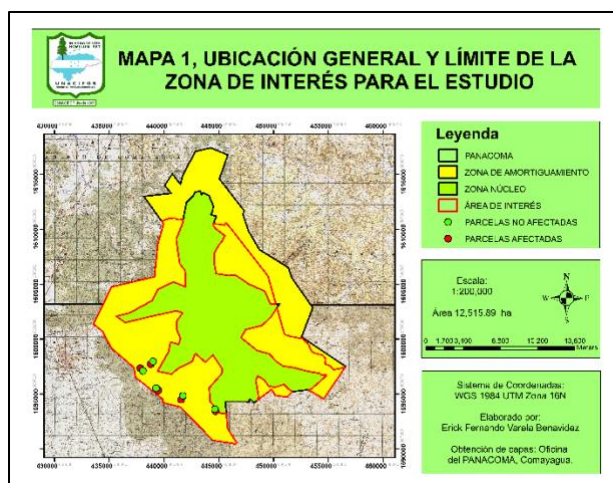
En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo en la zona de amortiguamiento del PANACOMA, Comayagua, Honduras, mediante la comparación entre parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales. Se planteó como hipótesis que la severidad del incendio influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, generando alteraciones diferenciadas según las condiciones de cada sitio evaluado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se realizó en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Montaña de Comayagua (PANACOMA), ubicada en el municipio de Comayagua, Honduras, entre las coordenadas 14°28' y 14°35' N y 87°32' y 87°39' O. El área presenta un relieve montañoso con altitudes entre 1,200 y 2,400 msnm., clima tropical húmedo y temperatura media anual aproximada de 20 °C. La cobertura vegetal predominante corresponde a bosques de pino (*Pinus oocarpa*), con presencia de especies latifoliadas y vegetación herbácea asociada.

Figura 1.

Mapa de ubicación general y límites del área de estudio en la zona de amortiguamiento del PANACOMA.



Nota. Elaboración propia a partir de datos de PANACOMA (2025).

Diseño experimental y muestreo: La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, mediante un diseño no experimental, comparativo y correlacional, complementado con observaciones de campo para la interpretación de las condiciones

post-incendio. Se seleccionaron cinco sitios con antecedentes recientes de incendios forestales ocurridos durante los últimos cinco años, estableciendo en cada uno parcelas pareadas integradas por una parcela afectada y una parcela sin evidencia reciente de incendio.

En cada parcela de 50 m² se recolectó una muestra compuesta integrada por ocho submuestras de suelo obtenidas a una profundidad de 0–30 cm. Las parcelas afectadas fueron seleccionadas aleatoriamente dentro de las áreas con evidencia de incendio, mientras que las parcelas no afectadas se eligieron de manera dirigida, considerando similitud de cobertura vegetal, pendiente y condiciones edáficas entre sitios afectados y no afectados.

Análisis de laboratorio: Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, siguiendo metodologías estandarizadas para análisis físicos y químicos del suelo. Se evaluaron propiedades físicas como densidad aparente, densidad real y porosidad; propiedades químicas como pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; además de variables asociadas indirectamente a la actividad biológica del suelo.

Análisis estadístico: La información obtenida fue organizada y analizada mediante Microsoft Excel 365. Se calcularon estadísticos descriptivos, incluyendo medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación para cada variable evaluada.

Asimismo, se aplicaron análisis de correlación de Pearson (r) para identificar asociaciones entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Adicionalmente, se desarrollaron modelos de regresión lineal simple considerando la severidad del incendio como variable independiente y las propiedades del suelo como variables dependientes. La calidad de ajuste de los modelos fue evaluada mediante el coeficiente de determinación (R^2).

RESULTADOS

Propiedades físicas

Las parcelas afectadas por incendios forestales presentaron una densidad aparente promedio de 1.08 g/cm³, ligeramente inferior a la registrada en parcelas no afectadas (1.10 g/cm³). De manera similar, la porosidad promedio fue mayor en los suelos quemados (50.22 %) en comparación con los no afectados (49.72 %), evidenciando una ligera disminución de la compactación en las áreas incendiadas.

Las variaciones observadas no fueron homogéneas entre parcelas, registrándose incrementos de densidad aparente y disminución de la porosidad en algunos sitios específicos, particularmente en las parcelas 1 y 3. La densidad real mostró cambios poco marcados entre parcelas afectadas y no afectadas. En cuanto a la textura del suelo, no se observaron cambios sustanciales asociados a los incendios forestales, predominando condiciones franco-arenosas en la mayoría de las parcelas evaluadas.

La capacidad de campo presentó valores ligeramente menores en las parcelas afectadas por incendios forestales, oscilando entre 32 % y 37 %, mientras que en las parcelas no afectadas se registraron valores de hasta 42 % en suelos de textura más fina. Estas variaciones reflejan diferencias en la retención de humedad del suelo, asociadas principalmente a la textura y al contenido de materia orgánica presente en cada parcela.

Tabla 1.

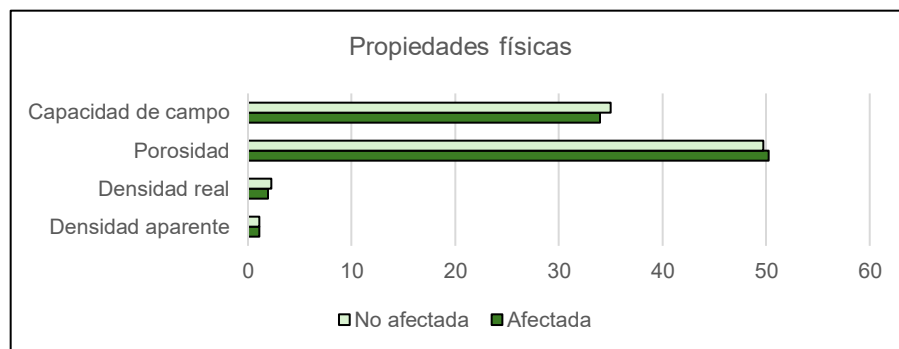
Diferencias de las propiedades físicas del suelo entre parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales.

Parcela	Densidad aparente	Densidad real	Porosidad	Capacidad de campo
1	0.07	-0.35	-11.80	2
2	-0.27	-0.10	9.80	3
3	0.18	-0.02	-8.50	0
4	-0.01	0.23	5.80	-3
5	-0.10	0.10	7.20	-8

Nota. Elaboración propia.

Figura 2.

Comparación de las propiedades físicas promedio del suelo entre parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales.



Nota. Elaboración propia.

Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo evidenciaron respuestas más marcadas frente a la ocurrencia de incendios forestales. Las parcelas afectadas presentaron un pH promedio de 5.85, superior al registrado en parcelas no afectadas (5.55), observándose incrementos más notorios en áreas con incendios recientes.

Asimismo, se registraron variaciones en el contenido de nutrientes, particularmente fósforo, potasio, calcio y magnesio. La parcela 2 presentó los mayores incrementos de fósforo y calcio, mientras que en otras parcelas se observaron reducciones asociadas a incendios de mayor antigüedad.

La materia orgánica y el carbono orgánico presentaron disminuciones en varias parcelas afectadas, evidenciando procesos de pérdida de fertilidad y alteración de la cobertura orgánica superficial del suelo.

Tabla 2.

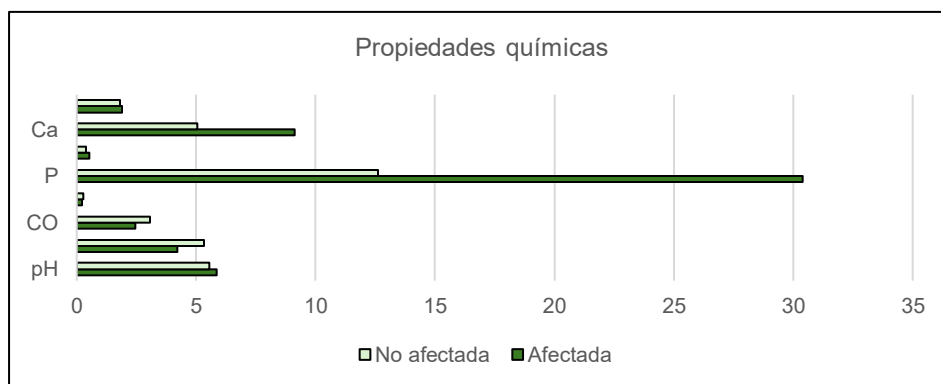
Diferencias de las propiedades químicas del suelo entre parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales.

Parcela	pH	MO	CO	N	P	K	Ca	Mg
1	-0.62	-3.16	-1.83	-0.16	-2.00	-0.09	-4.08	-0.30
2	2.00	0.56	0.32	0.02	107.00	0.92	29.48	3.71
3	0.10	-1.54	-0.90	-0.08	-1.00	0.06	-0.07	-1.16
4	0.17	-3.66	-2.12	-0.19	-6.00	-0.07	-3.55	-1.16
5	-0.16	2.31	1.39	0.12	-9.00	-0.08	-1.37	-0.65

Nota. Elaboración propia.

Figura 3.

Comparación de las propiedades químicas promedio del suelo entre parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales.



Nota. Elaboración propia.

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó respuestas variables entre parcelas evaluadas. En algunas parcelas afectadas se observaron disminuciones respecto a las áreas no afectadas, mientras que en la parcela 2 se registró un incremento considerable asociado a la acumulación de cenizas y material carbonizado posterior al incendio.

Estas variaciones reflejan diferencias en la disponibilidad de cationes básicos y en el contenido de materia orgánica del suelo entre parcelas afectadas y no afectadas.

Tabla 3.

Variación de la capacidad de intercambio catiónico en parcelas afectadas y no afectadas por incendios forestales.

Muestra	Afectada	No afectada	Diferencia	Cambio relativo (%)
1	5.65	9.66	-4.01	-42%
2	38.55	4.87	33.68	692%
3	5.94	6.18	-0.24	-4%
4	2.36	7.14	-4.78	-67%
5	7.56	9.72	-2.16	-22%

Nota. Elaboración propia.

Indicadores asociados a la actividad biológicas del suelo

Las condiciones asociadas a la actividad biológica del suelo evidenciaron respuestas indirectas relacionadas con las variaciones físicas y químicas observadas en las parcelas afectadas por incendios forestales. Las áreas con mayor severidad presentaron condiciones menos favorables para la actividad biológica del suelo, particularmente en sitios con menor contenido de materia orgánica y mayor alteración estructural.

En contraste, algunas parcelas afectadas por incendios superficiales mostraron señales de recuperación de cobertura herbácea y sotobosque, evidenciando procesos iniciales de recuperación ecológica posteriores al fuego.

Figura 4.

Condiciones de regeneración vegetal y cobertura post-incendio en parcelas evaluadas.



Nota. Fotografías tomadas durante las giras de campo.

Comportamiento y tipos de incendios

El régimen de fuego observado en el área de estudio correspondió predominantemente a incendios superficiales de baja intensidad, afectando principalmente la hojarasca, el material orgánico fino y la vegetación del sotobosque. Este comportamiento fue identificado en cuatro de las cinco parcelas evaluadas.

No obstante, la parcela 2 presentó características asociadas a un incendio de mayor severidad, incluyendo evidencias de combustión subterránea, pérdida de la capa orgánica superficial y menor regeneración vegetal.

La severidad y comportamiento del fuego estuvieron influenciados por factores como la disponibilidad de combustible, pendiente del terreno, humedad del suelo y continuidad de la cobertura vegetal.

Tabla 4.

Clasificación de los tipos de incendios e intensidad observada en las parcelas evaluadas.

Parcela de muestreo	Tipo de incendio predominante	Intensidad	Pendiente promedio (%)
Muestra 1	Superficial	Baja	42.4
Muestra 2	Superficial y subterráneo	Alta	41.1
Muestra 3	Superficial	Baja	46.4
Muestra 4	Superficial	Baja	54.7
Muestra 5	Superficial	Baja	30.9

Nota. Elaboración propia.

Figura 5.

Evidencias de severidad e impactos post-incendio en parcelas evaluadas.



Nota. Fuente propia.

Correlaciones

El análisis de correlación mostró asociaciones entre la severidad del incendio y varias propiedades químicas del suelo, particularmente pH, fósforo, potasio y calcio. Las propiedades físicas presentaron relaciones más variables entre parcelas evaluadas.

Las correlaciones observadas evidencian tendencias de respuesta diferenciadas entre propiedades físicas y químicas frente a la ocurrencia de incendios forestales.

Figura 6A.

Matriz de correlación entre severidad del incendio y propiedades del suelo.

Variable	delta Densidad aparente	delta Densidad real	delta Porosidad	delta pH	delta MO	delta CO	delta N
delta Densidad aparente	1.000000	-0.113765	-0.844426	-0.748749	-0.572875	-0.570528	-0.553368
delta Densidad real	-0.113765	1.000000	0.627904	0.091055	0.143337	0.146905	0.140138
delta Porosidad	-0.844426	0.627904	1.000000	0.635067	0.541759	0.541842	0.524963
delta pH	-0.748749	0.091055	0.635067	1.000000	0.354082	0.344867	0.322918
delta MO	-0.572875	0.143337	0.541759	0.354082	1.000000	0.999926	0.999450
delta CO	-0.570528	0.146905	0.541842	0.344867	0.999926	1.000000	0.999696
delta N	-0.553368	0.140138	0.524963	0.322918	0.999450	0.999696	1.000000
delta P	-0.759006	-0.223140	0.473512	0.945238	0.331094	0.321667	0.302152
delta K	-0.724530	-0.170436	0.476187	0.964285	0.362353	0.352443	0.333003
delta Ca	-0.773016	-0.151810	0.524979	0.961865	0.428886	0.419559	0.400414
delta Mg	-0.812755	-0.311976	0.468209	0.882399	0.387881	0.379697	0.362040
delta Arena	0.030283	0.640845	0.328588	-0.470222	0.384770	0.394898	0.405026
delta Limo	-0.007505	-0.590391	-0.318368	0.498251	-0.363795	-0.374445	-0.384895
delta Arcilla	-0.052316	-0.684030	-0.335389	0.438142	-0.401564	-0.411083	-0.420795

Figura 6B.

Matriz de correlación entre severidad del incendio y propiedades del suelo.

Variable	delta P	delta K	delta Ca	delta Mg	delta Arena	delta Limo	delta Arcilla
delta Densidad aparente	-0.759006	-0.724530	-0.773016	-0.812755	0.030283	-0.007505	-0.052316
delta Densidad real	-0.223140	-0.170436	-0.151810	-0.311976	0.640845	-0.590391	-0.684030
delta Porosidad	0.473512	0.476187	0.524979	0.468209	0.328588	-0.318368	-0.335389
delta pH	0.945238	0.964285	0.961865	0.882399	-0.470222	0.498251	0.438142
delta MO	0.331094	0.362353	0.428886	0.387881	0.384770	-0.363795	-0.401564
delta CO	0.321667	0.352443	0.419559	0.379697	0.394898	-0.374445	-0.411083
delta N	0.302152	0.333003	0.400414	0.362040	0.405026	-0.384895	-0.420795
delta P	1.000000	0.993278	0.991837	0.981833	-0.620141	0.623998	0.610290
delta K	0.993278	1.000000	0.996285	0.958744	-0.605167	0.620501	0.584213
delta Ca	0.991837	0.996285	1.000000	0.968460	-0.545186	0.557950	0.527337
delta Mg	0.981833	0.958744	0.968460	1.000000	-0.571735	0.559733	0.577903
delta Arena	-0.620141	-0.605167	-0.545186	-0.571735	1.000000	-0.994957	-0.995155
delta Limo	0.623998	0.620501	0.557950	0.559733	-0.994957	1.000000	0.980274
delta Arcilla	0.610290	0.584213	0.527337	0.577903	-0.995155	0.980274	1.000000

Nota. Elaboración propia.

Modelos de regresión



Los modelos de regresión lineal mostraron tendencias de asociación entre la severidad del incendio y varias propiedades químicas del suelo. Los mayores coeficientes de determinación (R^2) se registraron para fósforo, potasio y calcio, mientras que las propiedades físicas evidenciaron menores niveles de ajuste.

En general, los resultados reflejan una mayor respuesta de las propiedades químicas frente a la severidad del incendio en comparación con las propiedades físicas del suelo.

Tabla 6.

Coefficientes de determinación (R^2) obtenidos para las variables evaluadas.

Variable	R^2	Severidad baja (1)	Severidad alta (2)
Densidad aparente	0.0025	1.0775	1.0700
Densidad real	0.0015	2.1650	2.1800
Porosidad	0.0072	50.0750	50.8000
pH	0.9176	5.5425	7.0800
MO	0.0523	4.0650	4.8600
CO	0.0531	2.3550	2.8200
N	0.0439	0.2025	0.2400
P	0.9994	3.7500	137.0000
K	0.9934	0.3525	1.2500
Ca	0.9809	3.3250	32.3800
Mg	0.9026	1.1500	4.8300
Arena	0.9185	63.0000	50.0000
Limo	0.7642	19.0000	28.0000
Arcilla	0.6154	18.0000	22.0000

Nota. Elaboración propia.

Figura 6.

Relación entre severidad del incendio y propiedades del suelo.

Variable	Correlación con severidad
delta Densidad aparente	-0.797812
delta Densidad real	-0.183769
delta Porosidad	0.525325
delta pH	0.950867
delta MO	0.367994
delta CO	0.359011
delta N	0.339246
delta P	0.997945
delta K	0.990147
delta Ca	0.993513
delta Mg	0.984208
delta Arena	-0.570925
delta Limo	0.573819
delta Arcilla	0.562500

Nota. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo:

Las variaciones observadas en las propiedades físicas del suelo evidencian que los incendios forestales generan respuestas heterogéneas condicionadas por la severidad del fuego y las características iniciales del sitio. La ligera disminución de la densidad aparente y el incremento de la porosidad en algunas parcelas afectadas coinciden con lo reportado por Certini (2005), quien señala que la combustión parcial de la materia orgánica superficial puede modificar temporalmente la estructura del suelo y favorecer cambios en la aireación y distribución de poros.

Sin embargo, algunas parcelas presentaron incrementos de densidad aparente posteriores al incendio, lo que sugiere procesos localizados de compactación asociados a la pérdida de agregados, exposición mineral y tránsito sobre las áreas afectadas. Resultados similares fueron reportados por Li Xue et al. (2014), quienes observaron respuestas variables de la densidad aparente dependiendo de la intensidad del incendio y del tiempo transcurrido desde su ocurrencia.

La ausencia de cambios importantes en la textura del suelo confirma que las fracciones minerales no fueron alteradas significativamente por el fuego, manteniéndose la textura como uno de los principales factores que regulan la retención de humedad y comportamiento físico del suelo.

Propiedades químicas del suelo:

Las propiedades químicas evidenciaron respuestas más marcadas frente a la ocurrencia de incendios forestales, particularmente en las parcelas afectadas recientemente. El incremento observado en el pH y en nutrientes como fósforo, calcio y magnesio coincide con lo reportado por Rai et al. (2023) y Johnson et al. (2024), quienes atribuyen estos aumentos a la deposición de cenizas ricas en cationes básicos y compuestos minerales liberados durante la combustión de la biomasa.

La parcela con mayor severidad presentó incrementos excepcionalmente altos de fósforo y calcio, reflejando una liberación inmediata de nutrientes posterior al incendio. Este comportamiento también ha sido documentado por Certini (2005), quien señala que los incendios recientes pueden generar efectos temporales de fertilización debido a la acumulación de cenizas sobre la superficie del suelo.

En contraste, varias parcelas afectadas presentaron disminución de materia y carbono orgánicos, evidenciando procesos de degradación y pérdida progresiva de fertilidad posteriores al fuego. Estos resultados coinciden con Panico et al. (2020) y Arunrat et al. (2024), quienes destacan que la volatilización de nutrientes y la pérdida de cobertura orgánica reducen la capacidad de recuperación del suelo a mediano plazo.

Comportamiento del fuego y severidad:

El predominio de incendios superficiales de baja intensidad en el área de estudio explica parcialmente las respuestas moderadas observadas en varias propiedades físicas del suelo. Según González-Cabán (2007), este tipo de incendios afecta principalmente la hojarasca y vegetación superficial, generando impactos menos severos sobre la estructura mineral del suelo.

No obstante, la parcela afectada por un incendio de mayor severidad presentó alteraciones más marcadas, incluyendo pérdida de la capa orgánica superficial y menor regeneración vegetal. Este comportamiento coincide con lo señalado por Vahedifard et al. (2024), quienes destacan que los incendios de alta severidad generan mayores efectos sobre la estabilidad estructural y resiliencia ecológica del suelo.

Relación entre severidad y propiedades del suelo:

Las correlaciones y modelos de regresión evidenciaron una mayor respuesta de las propiedades químicas frente a la severidad del incendio en comparación con las propiedades físicas. Los mayores coeficientes de determinación se registraron para fósforo, calcio y potasio, indicando una fuerte asociación entre la severidad del fuego y la liberación inmediata de nutrientes minerales.

En contraste, las propiedades físicas mostraron respuestas más variables y dependientes de factores locales como textura, pendiente y contenido de materia orgánica. Estos resultados coinciden con Certini (2005) y Agbeshie et al. (2022), quienes señalan que los efectos químicos del fuego suelen manifestarse de manera más inmediata, mientras que las alteraciones físicas dependen de procesos posteriores de degradación y recuperación del suelo.

CONCLUSIONES

Los incendios forestales generaron alteraciones diferenciadas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la zona de amortiguamiento del PANACOMA, evidenciando respuestas variables según la severidad del fuego y las características particulares de cada parcela evaluada.

Las propiedades físicas del suelo mostraron cambios moderados posteriores al incendio, registrándose ligeras disminuciones en la densidad aparente y aumentos en la porosidad en algunas parcelas afectadas. Sin embargo, estas respuestas no fueron homogéneas y estuvieron influenciadas por factores como la textura, pendiente y condiciones iniciales del suelo.

Las propiedades químicas presentaron las variaciones más marcadas, destacando incrementos temporales de pH, fósforo, calcio y magnesio en parcelas con incendios recientes, asociados a la deposición de cenizas y liberación de nutrientes minerales. En contraste, varias parcelas afectadas evidenciaron disminución de materia y carbono orgánicos, reflejando procesos de degradación progresiva de la fertilidad del suelo.

Las condiciones biológicas del suelo evidenciaron respuestas indirectas asociadas a las alteraciones físico-químicas observadas, particularmente en parcelas con mayor severidad de incendio y menor cobertura orgánica superficial, donde se identificaron condiciones menos favorables para la actividad biológica y recuperación ecológica.

Los análisis de correlación y regresión mostraron una mayor asociación entre la severidad del incendio y las propiedades químicas del suelo en comparación con las propiedades físicas, evidenciando que los efectos del fuego sobre la disponibilidad de nutrientes se manifiestan de manera más inmediata posterior al incendio.

Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de fortalecer estrategias de manejo y restauración ecológica en áreas afectadas por incendios forestales dentro del PANACOMA, priorizando acciones orientadas a la recuperación de la cobertura vegetal, conservación de la materia orgánica y reducción de procesos de degradación edáfica.

Contribución de los autores

Erick Fernando Varela Benavidez realizó el trabajo de campo, procesamiento e interpretación de datos y redacción del manuscrito. Jairon Isidro Castellanos Hernández participó en la supervisión, revisión metodológica y corrección científica del documento.

Conflicto de interés

Los autores declaran no presentar conflictos de interés.

Financiamiento

La investigación fue desarrollada con recursos propios y apoyo académico de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR). Asimismo, se contó con apoyo técnico y logístico de la Unidad Municipal Ambiental (UMA), incluyendo disponibilidad de transporte para algunas giras de campo.

Uso de inteligencia artificial (IA)

Se utilizó inteligencia artificial como herramienta de apoyo para la redacción, revisión gramatical y organización del texto, sin sustituir el análisis e interpretación de los resultados. Los autores verificaron de manera independiente la precisión y coherencia de todo el contenido generado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., & Awuah, R. (2022). *A review of the effects of forest fire on soil properties*. SpringerLink. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Arunrat, N., Kongsurakan, P., Solomon, L. W., & Sereenonchai, S. (2024). *Fire Impacts on Soil Properties and Implications for Agriculture*. Agriculture. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091660>
- Certini, G. (2005). *Effects of fire on properties of forest soils: A review*. Oecologia. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- González-Cabán, A. (2007). *Wildland fire management and economics*. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- IPCC. (2019). *Informe Especial sobre el Cambio Climático y la Tierra del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático*.
- Johnson, D. B., Yedinak, K. M., Sulman, B. N., Berry, T. D., Kruger, K., & Whitman, T. (2024). *Effects of fire and fire-induced changes in soil properties on post-burn soil respiration*. Fire Ecology. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00328-1>
- Panico, V. M., S., C., Santorufo, L., Barile, R., Di Natale, G., Di Nunzio, A., . . . Maisto, G. (2020). *Do wildfires cause changes in soil quality in the short term?* Scientific Reports. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155343>
- Rai, D., Silveira, M. L., Strauss, S. L., Meyer, J. L., Castellano-Hinojosa, A., Kohmann, M. M., . . . Gerber, S. (2023). *Short-term prescribed fire-induced changes in soil properties and nutrients*. Geoderma Regional. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00693>
- Vahedifard, F., Abdollahi, M., Leshchinsky, B. A., Stark, T. D., Sadegh, M., & AghaKouchak, A. (2024). *Interdependencies between wildfire-induced alterations in soil structure and function*. Earth's Future. <https://doi.org/10.1029/2023EA003498>
- Xue, L., Li, Q., & Chen, H. (25 de Noviembre de 2014). *Effects of a Wildfire on Selected Physical, Chemical and Biochemical Soil Properties in a Pinus massoniana Forest in South China*. <http://www.mdpi.com/journal/forests>