

IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LAS PROPIEDADES EDÁFICAS DEL SUELO EN EL VALLE DEL MANTARO, PERÚ: UN ANÁLISIS COMPARATIVO POST-INCENDIO

Tiber Joel Cano-Camayo ¹, Wilfredo Bulege-Gutiérrez ^{2,3*} y Alex José Chunga-Landeo ⁴

1. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

2. Universidad Continental, Huancayo, Perú.

3. Escuela de Educación Superior Tecnológica ADEX, Lima, Perú.

4. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

*Autor de correspondencia: wbulege@continental.edu.pe

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar los impactos que los incendios forestales generan en las propiedades del suelo en el Valle del Mantaro, Perú. Se empleó un diseño metodológico no experimental, descriptivo y comparativo. A partir del análisis de imágenes satelitales con contraste temporal, se seleccionaron seis zonas de muestreo, elegidas según criterios de accesibilidad y severidad del incendio. En cada zona se recolectaron muestras de suelo tanto en áreas afectadas como no afectadas, evaluando variables como materia orgánica, pH, densidad aparente y nutrientes disponibles. Los resultados evidencian una disminución significativa de la materia orgánica y el nitrógeno disponible tras el incendio, así como un incremento en la densidad aparente y una alcalinización temporal del suelo atribuida a la presencia de cenizas. En las demás variables evaluadas no se observaron diferencias significativas. Se concluye que los incendios forestales deterioran significativamente la calidad del suelo, al alterar propiedades clave que comprometen su productividad a largo plazo.

PALABRAS CLAVES

Incendio forestal; Suelo; Valle del Mantaro; Propiedades edáficas; Perú

IMPACT OF FOREST FIRES ON SOIL EDAPHIC PROPERTIES IN THE MANTARO VALLEY, PERU: A COMPARATIVE POST-FIRE ANALYSIS

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the impacts that forest fires have on soil properties in the Mantaro Valley. A non-experimental, descriptive, and comparative methodological design was employed. Based on the analysis of satellite images with temporal contrast, six sampling sites were selected according to criteria of accessibility and fire severity. Soil samples were collected from both affected and unaffected areas at each site, evaluating variables such as organic matter, pH, bulk density, and available nutrients. The results show a significant decrease in organic matter and available nitrogen after the fire, as well as an increase in bulk density and temporary soil alkalization due to the presence of ash. No significant differences were observed in the other variables evaluated. It is concluded that forest fires significantly degrade soil quality by altering key properties that threaten its long-term productivity.

KEYWORDS

Forest fire; Soil; Mantaro Valley; Edaphic properties; Peru

DOI:

<https://doi.org/10.55467/reder.v10i1.211>

RECIBIDO

30 de mayo de 2025

ACEPTADO

7 de julio de 2025

PUBLICADO

1 de enero de 2026

Formato cita

Recomendada (APA):

Cano-Camayo, T.J., Bulege-Gutiérrez, W. & Chunga-Landeo, A.J. (2026). Impacto de los Incendios Forestales en las Propiedades Edáficas del Suelo en el Valle del Mantaro, Perú: Un Análisis Comparativo Post-Incendio. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 10(1), 121-130. <https://doi.org/10.55467/reder.v10i1.211>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales o de biomasa son una de las principales causas del deterioro ambiental a nivel global, que pueden generar impactos significativos en los ecosistemas agravando la calidad del suelo y calidad del aire a través de la liberación de gases de efecto invernadero (Andreae, 2019). Diversos eventos han ocurrido y han sido registrados a lo largo de los años en diferentes partes del mundo, recientemente en el transcurso del 2024 se han producido incendios de grandes magnitudes dentro del territorio peruano (Arce, 2024), perjudicando diversos ecosistemas y zonas de vital importancia como áreas naturales protegidas (ANP). En la sierra peruana existen 65 ANP (Manta Nolasco, 2017). En este estudio, se tomaron en consideración estos eventos ocurridos durante meses de estiaje en el Valle del Mantaro, región Junín de Perú, cuando las condiciones climáticas favorecen la propagación del fuego. Estos incendios, que a menudo son provocados de manera intencional para actividades agrícolas y ganaderas, tienen efectos devastadores en la estructura, fertilidad y biodiversidad del suelo, la investigación se enfoca en los impactos generados a las propiedades del suelo.

Los incendios forestales son definidos como fuegos descontrolados que afectan la vegetación, la fauna y el suelo. Sus efectos directos incluyen la pérdida de materia orgánica y la compactación del suelo, mientras que los indirectos abarcan problemas como la erosión y la contaminación de fuentes de agua (González Ulibarry, 2017). Estas alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo reducen su fertilidad y capacidad para sostener la vegetación.

Diversos estudios internacionales respaldan la gravedad de los incendios forestales. En Galicia, España, Benito et al. (2014) encontraron que los incendios generan una pérdida significativa de materia orgánica y alteran propiedades clave del suelo como el pH y la capacidad de intercambio catiónico. De manera similar, investigaciones en la amazonia peruana realizadas por SERFOR (2021) mencionan que los incendios contribuyen al cambio climático al liberar grandes cantidades de carbono a la atmósfera, además de afectar negativamente a los ecosistemas locales. Igualmente, Verma et al. (2019) señalan que los incendios forestales impactaron significativamente las propiedades del suelo, cuya respuesta varió con los años posteriores al incendio y la profundidad del suelo. Por otro lado, Iglesias (2008) menciona que “los biosólidos parecen contribuir a la restauración de la biomasa microbiana y la fertilidad del suelo mediante modificaciones en la calidad de la materia orgánica, dependiendo del material aplicado, para el caso de incendios las cenizas producto de la combustión”. También, Góngora et al. (2017) concluye que puede haber un proceso de recuperación acelerado en el bosque impactado, caracterizado principalmente por la dominancia de arbustos y epífitas.

La resiliencia ecológica emerge como un concepto clave para entender la capacidad de los ecosistemas afectados por incendios de recuperarse y adaptarse a las perturbaciones. Según Aguilar et al., (2019) la resiliencia es la capacidad de resistir o adaptarse ante las perturbaciones, transformando situaciones disruptivas, como una crisis económica o el cambio climático, en oportunidades para renovar e innovar. En el caso del suelo, las propiedades físicas y químicas como la materia orgánica, la estructura, entre otros tienen un rol importante en el proceso de resiliencia. Así como lo señala Gómez-Sánchez et al. (2019) “todas las áreas incluidas aquellas sin intervención, logran alcanzar niveles similares a los previos al incendio (zonas de control), lo que sugiere que estos ecosistemas poseen una capacidad natural de adaptación frente al fuego”. No obstante, investigaciones como las de Mataix y Guerrero (2007) manifiestan que los incendios severos pueden superar la capacidad de resiliencia del suelo, resultando en cambios irreversibles que afectan su productividad a largo plazo. Por su parte, Khanina et al. (2018) evidencia la importancia de los incendios de pastizales en la generación de variaciones en el suelo y la vegetación, influyendo significativamente en los procesos de recuperación sucesional de las tierras abandonadas tanto a nivel local como a escala del paisaje. El proceso de recuperación del suelo tras un incendio está influenciado por factores como la intensidad del fuego, las condiciones edafoclimáticas y las intervenciones humanas. Según Cabaña (2022) la reforestación con especies nativas y la aplicación de técnicas de manejo sostenible son fundamentales para acelerar este proceso.

La normatividad peruana también reconoce la necesidad de proteger y manejar los suelos afectados por incendios. El Decreto Supremo 011-2017-MINAM (MINAM, 2017) establece estándares de calidad ambiental para suelos, con límites permisibles para diversos contaminantes

que pueden resultar del impacto del fuego. Asimismo, las normas técnicas como las relacionadas con la clasificación de suelos (INDECOP, 1999) proporcionan metodologías estandarizadas que guían la evaluación y gestión de los suelos afectados.

El presente estudio se enfoca en evaluar los impactos de los incendios forestales o de biomasa en algunos de los parámetros de las propiedades físicas y químicas de suelos del valle del Mantaro. Para ello, se analizarán variables como la materia orgánica, el pH, la densidad aparente y los nutrientes disponibles, tanto en zonas afectadas como no afectadas.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación es aplicada porque busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo (Lozada, 2014), en ese sentido, este estudio permite comprender los efectos generados por los incendios sobre el suelo, que por consecuencia generan otros conocimientos.

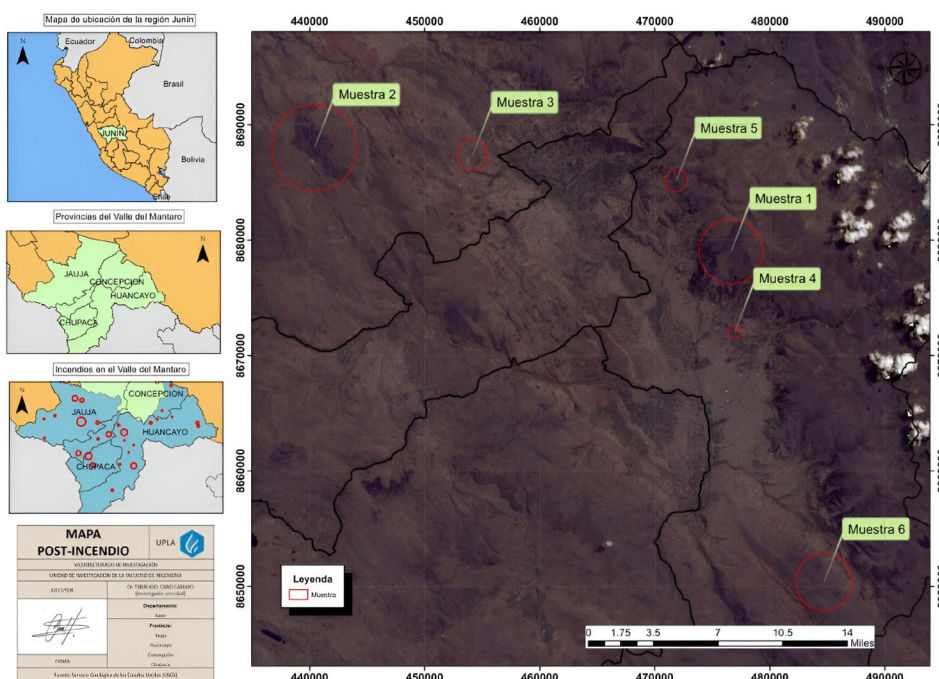


Figura 1. Mapa de imagen satelital analizada en agosto de 2024
Fuente: Autores, 2026, en base imágenes del Portal de la USGS.

El diseño es no experimental, descriptivo, comparativo; se ejecutó en varias zonas del valle del Mantaro que involucraban áreas de alta incidencia de incendios forestales; se seleccionaron seis puntos de muestreo basados en accesibilidad y frecuencia de incendios recientes, los cuales se determinaron en base a imágenes satelitales que evidenciaron la ocurrencia de los eventos.

Las áreas de donde se extrajeron las muestras fueron seleccionadas bajo criterios de severidad del incidente, las muestras se tomaron de áreas afectadas por el incendio y de áreas cercanas que no habían sido afectadas por el incendio, esto con el fin de evaluar con mayor exactitud los cambios generados en el suelo a causa de los incendios.

En un área seleccionada se tomaron varias submuestras haciéndose luego una sola muestra por zona, las submuestras fueron tomadas en profundidades de 0–20 cm, siendo rotuladas y almacenadas para su transporte hacia el laboratorio con certificación INACAL. Las muestras sirvieron para la evaluación de variables como pH, materia orgánica, densidad aparente, humedad y nutrientes disponibles. Los datos obtenidos fueron analizados con pruebas de normalidad y varianza, que ayudaron a constatar mejor el análisis estadístico a ejecutar, habiendo utilizado el software Excel y R Studio. Para el procesamiento y análisis de datos se desarrolló las siguientes fases:

Fases de planteamiento y organización (Pre campo)

- a. Identificación de las zonas propicias a incendios de biomasa en el valle del Mantaro. Se logró identificar las zonas propicias a incendios con ayuda de los shapes del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) Sierra Central para luego corroborar la información con imágenes satelitales obtenidas de la plataforma EarthExplorer, se hizo una comparación de imágenes satelitales con fechas pasadas y actuales, para la descarga de las imágenes se consideró a aquellos con poco contenido de nubosidad.
- b. Construcción de mapas en base a los incendios ocurridos. Con el uso del software ArcGIS se realizaron mapas en base a los incendios ocurridos, los mapas muestran el antes y el después de las áreas afectadas por los incidentes, además se utilizaron bases de datos como shapes de climas, cobertura vegetal, geología, entre otros que contribuyeron a un mejor entendimiento de las zonas afectadas.
- c. Construcción de fichas de recopilación de datos en campo. Se elaboró una ficha de recopilación de datos, dentro del instrumento se logró contemplar información esencial como fecha, lugar, coordenadas, altitud, tipo de cobertura vegetal, además, parámetros que se registraron in situ con el equipo Intelligent Soil Tester ST-03.
- d. Construcción de las entrevistas. Se elaboró una ficha con preguntas abiertas que sirvieron para las entrevistas, la ficha consistía en 5 preguntas con respuesta abierta, las cuales fueron:
 - ¿Qué sabe sobre el incendio ocurrido en su localidad?
 - ¿Cuál cree usted que fue la causa que originó el incendio?
 - ¿Por cuántas horas se prolongó el incidente?
 - ¿De qué manera afecto o está afectando a usted el incendio ocurrido?
 - ¿Sabe usted de las consecuencias al suelo que generan los incendios?
 - ¿Conoce usted, cómo es el nivel de recuperación del suelo luego del incendio?
 La ficha para las entrevistas fue revisada por expertos para su opinión técnica.
- e. Elaboración de cilindros de muestreo de suelo. Para la recolección de muestras de suelo, se elaboraron cilindros metálicos de 8 cm de altura con un diámetro de 3 cm, esto con la finalidad de extraer las muestras in situ y llevarlas al laboratorio para conocer la densidad real del suelo.

Fases de toma de datos y extracción de muestras (Trabajo de campo)

- a. Identificación de zonas con ocurrencia de incendios. Una vez identificados los lugares donde ocurrieron los incendios -según imágenes satelitales- se seleccionaron 6 sitios del total de áreas afectadas de las cuales se extrajeron muestras para su posterior análisis.
- b. Identificación y reconocimiento del área afectada. Teniendo la ubicación georreferenciada de las áreas afectadas, se llegó al lugar donde se procedió a realizar el reconocimiento del área, identificando el tipo de cobertura vegetal predominante y la severidad del incendio, además se identificaron zonas donde el evento fue más significativo, así como zonas limítrofes donde no ocurrió el evento.
- c. Toma de muestras. Identificados los sitios con mayor afectación por el incendio, se procedió a la extracción de muestras para lo cual se comenzó por marcar con GPS la ubicación del lugar, luego se delimitó el área homogéneamente, se prepararon las herramientas adecuadas a utilizar como pico, lampa, cinta métrica, cilindros de muestreo, bolsas de polietileno, guantes, fichas de campo y lapiceros.

Se inició por realizar la limpieza superficial del terreno en los puntos de submuestreo, la cantidad de submuestras dependieron por cada sitio ya que cada uno presentaba diferente cobertura y diferente pendiente, se procedió a extraer el suelo en forma de V de cada punto de submuestra haciendo uso de la pala, después de cada extracción de una submuestra se retiraban los bordes de la pala.

Las submuestras extraídas se colocaron en una plástica, todas las submuestras fueron combinadas mezclándolas bien, simultáneamente se realizó el retiro de piedras y raíces o restos de cobertura vegetal.

Seguidamente la mezcla fue dividida en 4 porciones separadas uniformemente, dos porciones opuestas fueron desechadas y las dos restantes se unieron nuevamente, este proceso se repitió hasta obtener aproximadamente 1 kg de muestra.

Las muestras extraídas fueron dispuestas en bolsas herméticas que posteriormente fueron codificadas según su ubicación, tipo de cobertura vegetal existente y fecha de recolección, entre otros datos.

Asu vez, se realizaba la extracción de muestras de suelo in situ; los cilindros metálicos fueron clavados en el suelo para la extracción de un trozo del suelo, para ser enviada al laboratorio y determinar la densidad del suelo.

Las muestras cilíndricas fueron selladas por ambos lados para evitar la alteración de la muestra por posibles derrames, tanto las muestras dispuestas en bolsas herméticas como las muestras en los cilindros metálicos, fueron colocados dentro de un cooler para su conservación hasta la entrega final al laboratorio.

- d. Evaluación de parámetros in situ. Se evaluaron parámetros con el equipo inteligente de medición de suelo, el cual cuenta con dos sensores que detectan la temperatura actual del suelo, el pH del suelo, porcentaje de humedad del suelo y la fertilidad medida bajo la conductividad eléctrica, además de detectar la luz solar y humedad del ambiente. Para la medición se comenzó por limpiar los sensores con agua destilada para posteriormente ser secados con papel toalla.

Seguidamente, los sensores se introdujeron directamente en el suelo, se encendió el equipo y se procedió a realizar el registro de los parámetros usando el botón measure, tomo un tiempo aproximado 20 seg en el registro de los datos.

Estos procedimientos también se realizaron en las zonas cercanas donde no había ocurrido tal evento.

- e. Desarrollo de entrevistas a la población. Durante el proceso de extracción de muestras, conjuntamente se realizaron las entrevistas esto con el fin de entender la naturaleza del incendio, así como sus consecuencias, las entrevistas fueron hechas a los pobladores que se encontraban cerca a los lugares con ocurrencia de incendios.
- f. Análisis en laboratorio. Las muestras colectadas fueron entregadas a los laboratorios de la Estación Experimental Agraria INIA – Hualahoyo – LABSAF y el laboratorio GEOSOLUM SAC quienes cuentan con certificación INACAL, dichos laboratorios se encargaron de analizar suelos, agua y foliares. En la entrega de las muestras se solicitó al laboratorio el análisis de la fertilidad actual (conductividad eléctrica, materia orgánica, fosforo disponible, potasio disponible y textura) y del análisis físico (densidad aparente, humedad y determinación de color).

Fase de Gabinete (Procesamiento de datos)

- a. Compilación y tabulado de datos. Los datos obtenidos en campo fueron editados en hojas Excel para su posterior análisis, datos como T° humedad, pH y conductividad eléctrica.
- b. Interpretación y análisis de datos. Se realizó la comparación de los parámetros medidos de suelos afectados y no afectados por el incendio.
- c. Análisis de normalidad de datos con el test de Shapiro- Wilk, test de homogeneidad de varianza, y test de Levene. Para el suelo quemado y no quemado se realizó el test de T de muestras pareadas (datos con distribución normal), y la prueba de Wilcoxon test pareadas (datos sin distribución normal).
- d. Elaboración de informe de resultados y artículo científico.

RESULTADOS

Con acuerdo a la Tabla 1, se aplicó pruebas pareadas a distintas propiedades del suelo para comparar su comportamiento antes y después del incendio. Las pruebas utilizadas incluyen el test no paramétrico de Wilcoxon y el t-test.

Variable	Pruebas pareadas utilizada	p-value
pH	Wilcoxon	p = 0.8339
Conductividad Eléctrica	Wilcoxon	p = 0.1422
Materia Orgánica	Wilcoxon	p = 0.03603
Potasio	Wilcoxon	p = 0.2945
Nitrógeno	Wilcoxon	p = 0.03603
Arena	t-test	p = 0.6139
Arcilla	t-test	p = 0.01987
Limo	Wilcoxon	p = 0.09169
Densidad Aparente	Wilcoxon	p = 0.2945
Humedad	Wilcoxon	p = 0.675

Tabla 1. Pruebas pareadas de las variables analizadas

Fuente: Autores, 2026.

En este análisis, se observa que Materia Orgánica ($p = 0.03603$), Nitrógeno ($p = 0.03603$) y Arcilla ($p = 0.01987$) muestran diferencias significativas después del incendio. Esto sugiere que estas propiedades fueron alteradas de manera importante por el fuego. La disminución de materia orgánica y nitrógeno es coherente con lo que se esperaría, ya que ambos son altamente sensibles a las temperaturas elevadas, perdiéndose por combustión y volatilización. En el caso de la arcilla, la variación puede deberse a la desestructuración de agregados del suelo o a la pérdida de componentes orgánicos que estabilizaban su fracción fina.

Por otro lado, variables como el pH ($p = 0.8339$), conductividad eléctrica, potasio, arena, limo, densidad aparente y humedad no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$). Aunque algunas de ellas, como la humedad o la densidad aparente, suelen verse afectadas por incendios, en este caso específico los cambios no fueron consistentes o lo suficientemente marcados para ser estadísticamente significativos. Esto puede deberse a la variabilidad natural del suelo entre sitios o a diferencias en la intensidad del fuego.

Según las Figuras 2 y 3, se evidencia que el pH del suelo tuvo un aumento en 0.8 unidades en áreas quemadas, indicando una alcalinidad temporal. Las zonas afectadas por los incendios forestales o de biomasa presentaron una reducción del 30% en materia orgánica y nitrógeno disponible. Asimismo, se observa que hubo un incremento promedio de 0.15 g/cm^3 en el suelo afectado, debido a la compactación por cenizas. Para las variables conductividad eléctrica, potasio disponible y textura (porcentaje de arena, arcilla y limo) de suelo no presentaron variaciones significativas.

Con acuerdo a la Figura 4, en suelos arenosos, los valores aumentan considerablemente después del incendio; en suelos limosos también se observa un incremento, aunque menos pronunciado que en los suelos arenosos. Por el contrario, en suelos arcillosos los valores disminuyen drásticamente, lo que sugiere un impacto negativo significativo.

Estos resultados indican que los incendios afectan las propiedades del suelo de manera heterogénea, generando respuestas opuestas entre suelos arenosos y limosos frente a los arcillosos.

En la Figura 5, la densidad aparente, muestra una mediana que disminuye después del incendio, lo cual puede deberse a la pérdida de estructura del suelo superficial o al disturbio del horizonte orgánico. No obstante, se observa una variabilidad notable entre sitios, lo que sugiere que los efectos del fuego pueden ser localmente específicos y estar influenciados por el tipo de vegetación y las condiciones previas del suelo. En el caso de la humedad, se observa una

disminución en la mayoría de los sitios después del incendio. La mediana tiende a ser más baja en el grupo "Después", y la dispersión de los datos también se reduce en varios casos, lo que sugiere que el fuego afectó negativamente la capacidad del suelo para retener agua. En contraste, los valores antes del incendio muestran una mayor variabilidad y, en algunos sitios, niveles notablemente más altos.

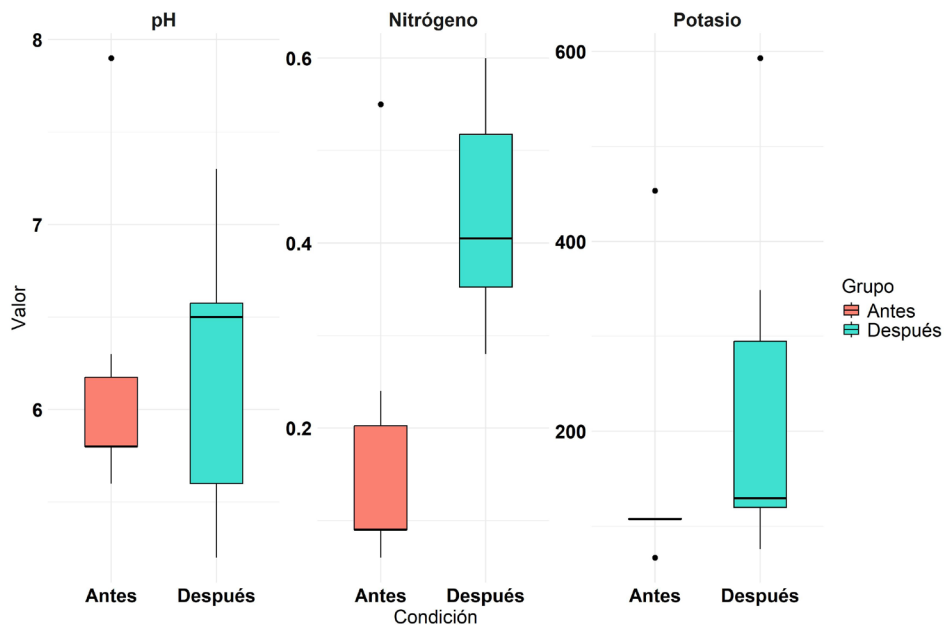


Figura 2. Propiedades químicas del suelo (pH, N, K) post incendio

Fuente: Autores, 2026.

Nota: Los valores representan las concentraciones de pH, Nitrógeno total (%) y Potasio (mg/kg).

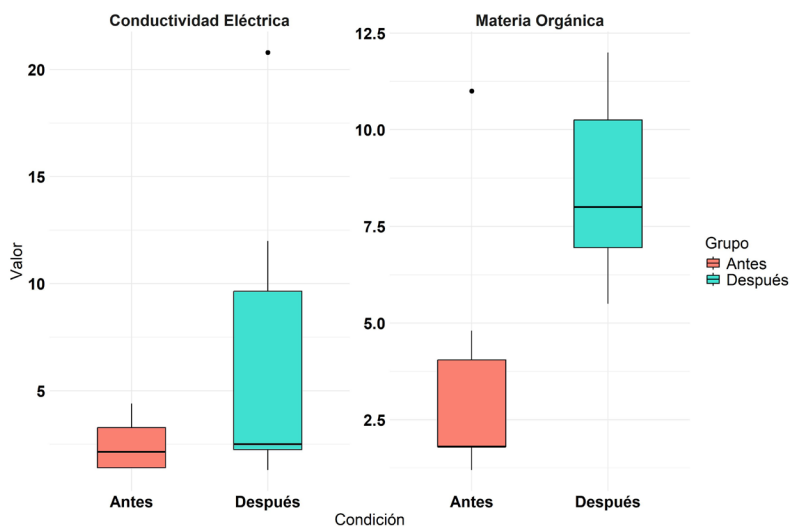


Figura 3. Propiedades químicas del suelo (CE, MO) post incendio

Fuente: Autores, 2026.

Nota: Los valores corresponden a Conductividad Eléctrica (dS/m) y Materia Orgánica (%).

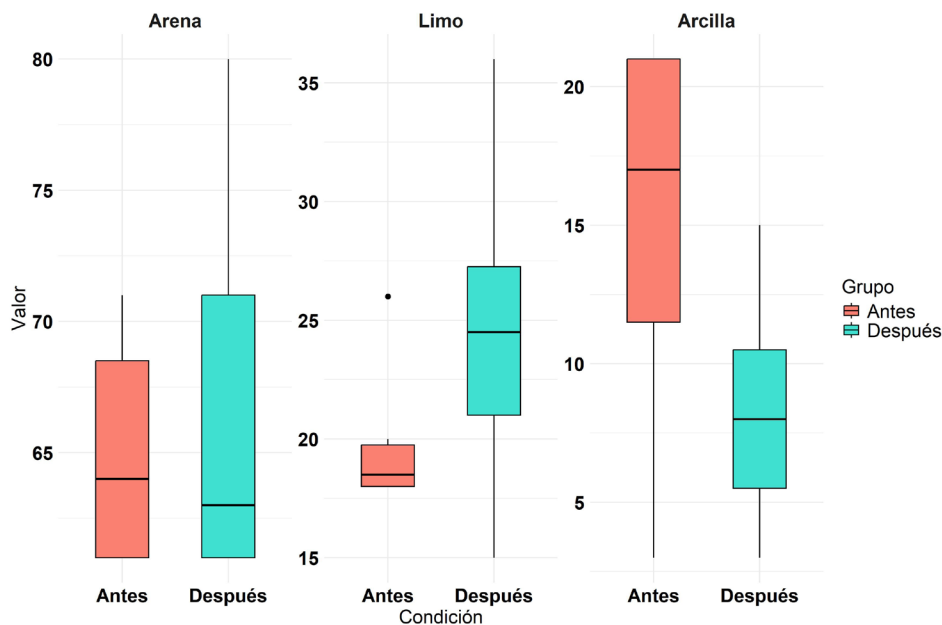


Figura 4. Distribución de arena, limo y arcilla en suelos post incendio
Fuente: Autores, 2026.

Nota: Los datos corresponden a los porcentajes de arena, limo y arcilla en muestras de suelo.

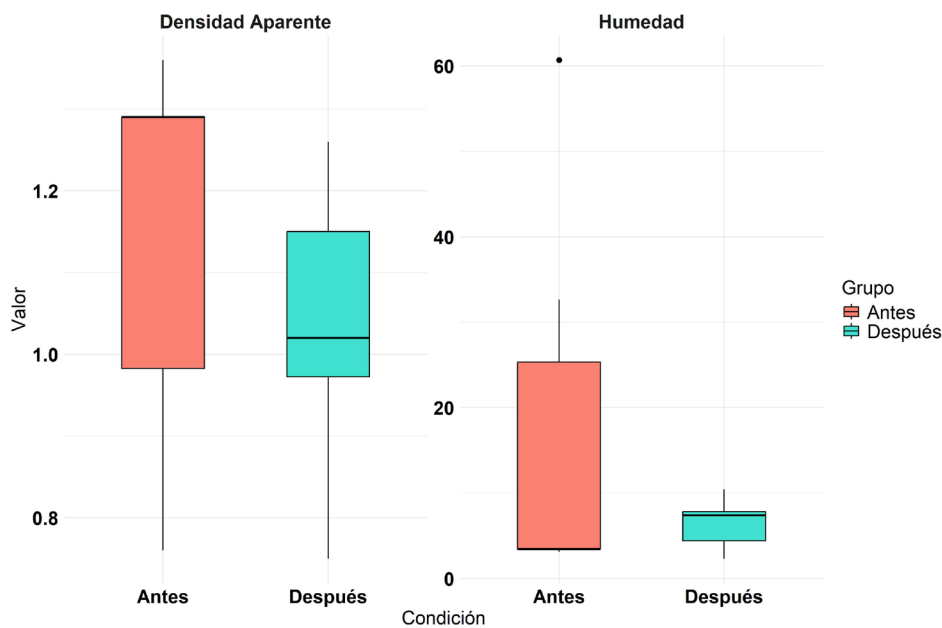


Figura 5. Densidad Aparente y Humedad post incendio
Fuente: Autores, 2026.

Nota: La densidad aparente esta expresada en (g/cm³), y la humedad en %.

DISCUSIÓN

El estudio mostró una reducción significativa en la materia orgánica del suelo quemado. Este resultado concuerda con lo señalado por Benito et al.(2014), quienes indicaron que los incendios consumen directamente la materia orgánica superficial, disminuyendo los componentes más susceptibles a degradarse rápidamente y aumentando aquellos que son más resistentes. Este fenómeno afecta la dinámica del carbono y nitrógeno, ralentizando su mineralización y la liberación de nutrientes necesarios para la recuperación vegetal. Esta reducción tiene importantes implicancias para la fertilidad, especialmente considerando que los suelos del valle del Mantaro tienden a poseer baja cantidad de materia orgánica, debido a las condiciones climáticas predominantes, como las temporadas secas en otoño e invierno.

El pH del suelo mostró una ligera tendencia a la alcalinización en las zonas quemadas, respuesta que también fue evidenciada por Casas (2019). Este fenómeno ocurre por la incorporación de cenizas, las cuales contienen carbonatos y óxidos básicos que aumentan temporalmente la alcalinidad. Sin embargo, este cambio es transitorio y depende de las lluvias, que pueden lixiviar los componentes alcalinos y devolver el pH a su nivel original. En este estudio, el efecto alcalino no resultó significativo en suelos afectados por los incendios, lo que se explica por las características del incendio (intensidad y duración), ya que la mayoría de los suelos estaban cubiertos por vegetación herbácea o arbustiva. Por ende, la materia orgánica quemada fue poca y la incorporación de cenizas, proporcionalmente limitada.

La textura del suelo no presentó variaciones significativas, hallazgo que coincide con lo reportado por Hermitaño y Crisóstomo (2021), quienes observaron que el fuego no altera la proporción relativa de arena, limo y arcilla. Sin embargo, se encontró un incremento en la densidad aparente en las zonas quemadas, resultado también reportado por Iglesias (2008) y Casas (2019). Este aumento se debe a la pérdida de materia orgánica y a la compactación del suelo causada por la acción térmica, lo que reduce su porosidad y permeabilidad. La alta densidad aparente observada genera limitaciones en la infiltración de agua y el desarrollo radicular de la vegetación, poniendo en riesgo la regeneración y contribuyendo a la erosión.

La pérdida de cobertura vegetal tras un incendio disminuye la capacidad del suelo para retener agua, exponiéndolo a una mayor evaporación. Por ello, la humedad del suelo se redujo considerablemente en las áreas quemadas, un efecto también evidenciado por Verma et al. (2019) en bosques secos tropicales. Asimismo, el nitrógeno disponible se redujo significativamente, resultados similares a los hallazgos de Khanina et al. (2018), quienes indicaron que esta variable es vulnerable a la volatilización a altas temperaturas. Por su parte, el contenido de potasio mostró un leve incremento, posiblemente asociado a la incorporación de cenizas, aunque esta mejora es temporal.

Finalmente, los incendios también afectaron indirectamente la estructura del suelo, aumentando su vulnerabilidad a la erosión. Estudios como el de González (2017) han identificado la pérdida de cobertura vegetal y la compactación del suelo causadas por incendios como factores que contribuyen a la formación de costras superficiales, lo que reduce la capacidad del suelo para infiltrar agua y genera escorrentía superficial.

CONCLUSIONES

Los incendios forestales o de biomasa generan impactos negativos significativos sobre las propiedades del suelo, tales como la reducción de la materia orgánica, del nitrógeno disponible y de la humedad, así como el aumento de la densidad aparente. Asimismo, los incendios alteran temporalmente el pH del suelo, provocando una alcalinización como resultado de la incorporación de cenizas ricas en compuestos básicos.

El desequilibrio observado en estos elementos puede dificultar la recuperación de la cobertura vegetal, al limitar el establecimiento y crecimiento de especies pioneras que dependen de nutrientes fácilmente disponibles. Estos cambios no solo comprometen la fertilidad del suelo, sino también su estructura física, lo cual pone en riesgo la capacidad de revegetación natural de las áreas afectadas por el fuego.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Peruana Los Andes, al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, (SERFOR) Sierra Central, a la Autoridad Local del Agua ALA Mantaro-Valle del Mantaro, y la Estación Experimental Agraria INIA - Hualahoyo, quienes brindaron datos e información importante para esta investigación.

REFERENCIAS

- Aguilar-Maldonado, S. L., Gallegos-Cari, A., & Muñoz-Sánchez, S. (2019). Análisis de componentes y definición del concepto resiliencia: Una revisión narrativa. *Revista de Investigacion Psicologica*, 22, 77-100. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-30322019000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Andreae, M. O. (2019). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(13), 8523-8546. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8523-2019>

- Arce, J. (2024, Sep. 15). Perú en llamas: Conoce los mapas de actividad de incendios forestales y los 10 mil de focos de calor por región—Infobae. <https://www.infobae.com/peru/2024/09/15/peru-en-llamas-mira-los-mapas-de-actividad-de-incendios-forestales-y-los-10-mil-de-focos-de-calor-por-region/>
- Benito Rueda, E., Varela, M. E., & Rodríguez Alleres, M. (2014). Efectos de los incendios forestales en la erosionabilidad de los suelos en Galicia. *Cuadernos de investigación geográfica*, 40(2), 353-370. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4847442>
- Cabaña Chávez, C. (2022). *Plantaciones Forestales Efectuadas Durante el Año 2021*. Corporación Nacional Forestal. <https://www.conaf.cl/centro-documental/plantaciones-forestales-efectuadas-durante-el-ano-2021/>
- Casas Terrones, M. G. (2019). Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco—Cajamarca [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3086>
- Gómez-Sánchez, E., Lucas-Borja, M. E., Plaza-Álvarez, P. A., González-Romero, J., Sagra, J., Moya, D., & De Las Heras, J. (2019). Effects of post-fire hillslope stabilisation techniques on chemical, physico-chemical and microbiological soil properties in mediterranean forest ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 246, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.150>
- Góngora, Y. R., Almarales Castro, A., Castelo, M., Brooks Laverdeza, R. M., Costa Acosta, J., Figueredo Cardona, L. M., & Blanco Ojeda, J. (2017). Los ecosistemas costeros del suroriente de Cuba y su capacidad de recuperación tras un incendio. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 5(2), 194-206. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6090126>
- González Ulibarry, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna (p. 8). Congreso Nacional de Chile. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186>
- Hermitaño Montalvo, H. R., & Crisóstomo Hilario, X. B. (2021). Efecto de la quema de pastizales en las propiedades de los suelos en Huamancaca Chico. Huancayo. 2020 [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10349>
- Iglesias López, M. T. (2008). Estudio del carbono de la biomasa microbiana en suelos alterados. *Lazaroa*, 29, 117-123. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2868185>
- INDECOPI. (1999). Norma Técnica Referida a Suelos. <http://www.normaslegalesonline.pe/clp/contenidos.dll/Legislacion/1/294646/295644/295645/295704>
- Khanina, L. G., Smirnov, V. E., Romanov, M. S., & Bobrovsky, M. V. (2018). Effect of spring grass fires on vegetation patterns and soil quality in abandoned agricultural lands at local and landscape scales in Central European Russia. *Ecological Processes*, 7(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0150-8>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- Manta Nolasco, M. I. (2017). *Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4302>
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica*. <https://www.researchgate.net/publication/229187257>
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.-. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>
- SERFOR. (2021). SERFOR reporta 245 alertas de incendios forestales en todo el país, a julio de 2021. <https://www.gob.pe/institucion/serfor/noticias/510226-serfor-reporta-245-alertas-de-incendios-forestales-en-todo-el-pais-a-julio-de-2021>
- Verma, S., Singh, D., Singh, A. K., & Jayakumar, S. (2019). Post-fire soil nutrient dynamics in a tropical dry deciduous forest of Western Ghats, India. *Forest Ecosystems*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0168-0>