

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL



“EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD POR INCENDIOS
FORESTALES EN EL COMPONENTE EDAFOLÓGICO
EN LA PROVINCIA DE JAÉN - 2020”

TESIS PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. Heinz Gonzáles Pérez

ASESOR:

Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Mitigación al Cambio Climático

JAÉN – PERÚ, SEPTIEMBRE, 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFORME FINAL DE TESIS-HEINZ GONZ
ALES.pdf**

RECuento DE PALABRAS

12846 Words

RECuento DE PÁGINAS

60 Pages

FECHA DE ENTREGA

Sep 18, 2023 10:25 AM GMT-5

RECuento DE CARACTERES

69509 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.0MB

FECHA DEL INFORME

Sep 18, 2023 10:26 AM GMT-5

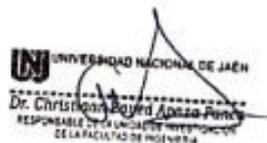
● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Fuentes excluidas manualmente
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)





FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 25 de septiembre del año 2023, siendo las 11:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre
Secretaria : Dr. Segundo Sánchez Tello
Vocal : Dr. Lupo Leónidas Varas Ponce

Para evaluar la Sustentación del Informe Final de:

- () Trabajo de Investigación
() Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD POR INCENDIOS FORESTALES EN EL COMPONENTE EDAFOLÓGICO EN LA PROVINCIA DE JAÉN"**, presentado por los estudiantes: Heinz Gonzáles Pérez, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

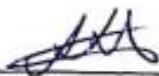
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

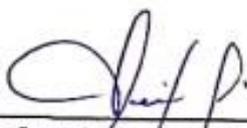
- () Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

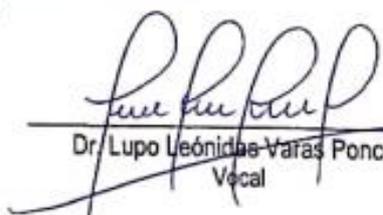
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:10 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


M. Sc. Gino Fernando Mondragón Aguirre
Presidente


Dr. Segundo Sánchez Tello
Secretaría


Dr. Lupo Leónidas Varas Ponce
Vocal

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1. Ubicación y materiales	14
2.2. Población	17
2.3. Muestra	17
2.4. Muestreo	17
2.5. Métodos	17
2.6. Metodología.....	18
III. RESULTADOS	27
3.1. Severidad del incendio forestal en el componente edafológico	27
3.2. Determinación de la repelencia del suelo	28
3.3. Resultados de la evaluación de las propiedades físicoquímicas del suelo	30
IV. DISCUSIONES	37
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones.....	46
5.2. Recomendaciones	47
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
DEDICATORIA	53
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Equipos, materiales e insumos utilizados en la investigación	16
Tabla 2	Datos sobre severidad del componente suelo	21
Tabla 3	Niveles de severidad	22
Tabla 4	Clases e intervalos de repelencia al agua según el método WDPT	24
Tabla 5	Distribución de parcelas por tipo de vegetación.....	25
Tabla 6	Propiedades químicas evaluadas y métodos de determinación	26
Tabla 7	Propiedad física evaluada y métodos de determinación.....	26
Tabla 8	Clasificación de repelencia al agua WDPT de las parcelas evaluadas	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del sitio de estudio	15
Figura 2 Ubicación de los subsitios cuadrados de muestreo	20
Figura 3 Selección de conglomerados según criterios empleados	27
Figura 4 Niveles de severidad en el componente edafológico	28
Figura 5 Distribución de puntos de muestreo WDPT en segundos.....	29
Figura 6 Valores de pH y Conductividad eléctrica (dS/m)	30
Figura 7 Resultados de CIC (meq/100 g).....	31
Figura 8 Materia orgánica y Nitrógeno	32
Figura 9 Fósforo y Potasio	33
Figura 10 Carbono y Nitrógeno.....	34
Figura 11 Cation Calcio y Magnesio.....	34
Figura 12 Cation Potasio y Sodio.....	35
Figura 13 Porcentaje de la textura del suelo.....	36
Figura 14 Suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Panorámica del área de estudio – matorral y plantación de pino en San Felipe	54
Anexo 2 Instalación de parcelas	54
Anexo 3 Tiempo en (s) de repelencia al agua a 1 cm profundidad en parcela de matorral incendiada.....	55
Anexo 4 Medición de la profundidad para la obtención de muestras de suelo	55
Anexo 5 Colocación de las muestras en bolsas previamente etiquetadas	56
Anexo 6 Muestras de suelo embolsadas y etiquetadas.....	56
Anexo 7 Homogenización de las muestras.....	57
Anexo 8 Secado bajo sombra de las muestras antes del envío a laboratorio	57
Anexo 9 Resultados del análisis de suelo – Muestra 1.....	58
Anexo 10 Resultados del análisis de suelo – Muestra 2	59
Anexo 11 Resultados del análisis de suelo– Muestra 3.....	60
Anexo 12 Resultados del análisis de suelo: parcelas quemadas N-01, N-02 y no quemada N-03.....	61
Anexo 13 Formato de campo	62
Anexo 14 Guía metodológica para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo	63

RESUMEN

Los incendios forestales constituyen la principal amenaza en la extinción de áreas forestales. Por ello es importante disponer de herramientas tecnológicas que faciliten la eficacia en la protección de ecosistemas. El objetivo fue evaluar la severidad en el suelo causado por incendios forestales en la provincia de Jaén región Cajamarca. Se analizó el nivel de severidad, grado de hidrofobicidad y estado de las propiedades tanto físicas y químicas del suelo, muestreando áreas afectadas por el fuego (plantación de Pino y matorral) y no afectadas. Los resultados muestran la severidad muy baja, además la hidrofobicidad es fuertemente repelente, siendo más persistente en áreas forestales que en matorrales; asimismo, la propiedad física (textura) no presentó variaciones, por el contrario las químicas si sufrieron alteraciones, entre las más significativas en plantación de Pino (*P. radiata*) está la disminución del pH en 0.34 unidades, conductividad eléctrica 0.02 dS/m, carbono 0.54%, materia orgánica 0.92%, nitrógeno 0.05% y la capacidad de intercambio catiónico que disminuyó en 4.225 meq/100g. Se concluyó que después del incendio es deseable la restauración de la cubierta vegetal, esto contribuiría a reducir las pérdidas de nutrientes y facilitaría la restauración beneficiosa de las características del suelo.

Palabras claves: suelo, propiedades fisicoquímicas, hidrofobicidad.

ABSTRACT

Forest fires are the main threat in the extinction of forest areas. Therefore, it is important to have technological tools that facilitate the effectiveness in the protection of ecosystems. The objective was to evaluate the severity in the soil caused by forest fires in the province of Jaén, Cajamarca region. The level of severity, degree of hydrophobicity and state of the physical and chemical properties of the soil were analyzed, sampling areas affected by fire (pine plantation and scrub) and unaffected areas. The results show very low severity, and hydrophobicity is strongly repellent, being more persistent in forest areas than in shrublands; also, the physical property (texture) did not present variations, on the contrary, the chemical properties did suffer alterations, among the most significant in pine plantation is the decrease in pH by 0.34 units, electrical conductivity 0.02 dS/m, carbon 0.54%, organic matter 0.92%, nitrogen 0.05% and cation exchange capacity decreased by 4.225 meq/100g. It was concluded that after the fire it is desirable to restore the vegetation cover, this would contribute to reduce nutrient losses and facilitate the beneficial restoration of soil characteristics.

Key words: soil, physicochemical properties, hydrophobicity.

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen eventos que ocasionan pérdidas sustanciales y significativas. Sus repercusiones ejercen un impacto sumamente desfavorable en los recursos naturales, ya que provocan la devastación de la vegetación, la mortalidad de la vida silvestre, la aniquilación de la biodiversidad en el suelo, la contaminación de las fuentes hídricas y, en última instancia, la alteración de la calidad del aire. Estos incendios provocan una transformación drástica en el aspecto del paisaje boscoso. La estructura de los seres vivos, ya sean plantas, animales o humanos experimenta un proceso de transformación y la restauración a su estado original puede llevar varios centenares de años (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2019).

La gran parte de los sistemas contemporáneos utilizados para categorizar la severidad de los incendios en superficies, se basan en indicadores que analizan las transformaciones en la capa orgánica del suelo (niveles de consumo) y en la capa superficial mineral (alteraciones de color o estructura), junto con la acumulación de cenizas generadas por la quema del material biológico o el suelo en sí mismo (Fernández et al., 2022). Por otro lado, el incremento de la temperatura en la superficie conduce a cambios en las características tanto físicas como químicas. El pH y la conductividad eléctrica experimentan un incremento debido a la inclusión de carbonatos, cationes básicos y óxidos derivados de las cenizas. Además, el período requerido para que el pH retorne a su nivel inicial varía y se considera más o menos rápido en función del tiempo durante el cual las cenizas permanezcan en el suelo, lo que puede resultar en una recuperación más rápida o más lenta (Mataix-Solera y Guerrero, 2011).

En ciertas situaciones, algunos suelos pueden exhibir repelencia al agua (hidrofobicidad) considerados como suelos hidrofóbicos; en estos suelos, el agua no se absorbe de manera fácil. La hidrofobicidad es una característica que reduce la capacidad de los suelos para absorber líquidos, lo cual tiene implicaciones significativas en términos hidrológicos y geomorfológicos. Esta característica tiende a manifestarse con frecuencia después de un incendio, aunque también está

relacionada con diversos tipos de suelos en zonas geográficas y climáticas alrededor del mundo (Mataix-Solera y Guerrero, 2011).

En nuestro país, los incendios forestales son más comunes en el periodo de agosto a noviembre especialmente en la región andina, alterando ecosistemas de pajonal, puna húmeda, matorral andino y jalca. Los departamentos que presentan una susceptibilidad superior al 80% para la ocurrencia de estos eventos se encuentran Apurímac, Huancavelica, Ayacucho y Cajamarca. Se estima que aproximadamente el 98% de estos incendios son provocados por factores antrópicos, predominando las quemaduras agrícolas. Las principales causas de la ignición forestal incluyen la quema de: restos agrícolas y residuos sólidos, pastizales, quema intencional por traficantes de terreno, quema del bosque para ampliar áreas para la agricultura accidentes por fogatas, mitos de quemar foresta para que llueva entre otros (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

Esta situación recurrente en ciertas áreas de la provincia de Jaén y en regiones particularmente vinculadas a la actividad forestal y agrícola, la cual también representa una seria preocupación ambiental con implicaciones tanto económicas y medioambientales, requiere llevar a cabo investigaciones a un nivel avanzado. Estos estudios deberían abordar la gravedad de los incendios forestales en relación con su impacto en el componente suelo, al mismo tiempo analizar la forma en la que tanto las propiedades físicas como químicas del suelo experimentan cambios. Por lo tanto, es fundamental determinar niveles de severidad resultantes de los incendios forestales, ya que esto no solo permite comprender y describir los efectos perjudiciales, sino también fortalecer, a través de la evaluación, estrategias de restauración y rehabilitación destinadas a las áreas o zonas afectadas por los incendios.

Casas (2019), en su investigación evaluó los impactos del incendio forestal en las características físicas y químicas del componente edafológico. Las variables examinadas fueron suelo afectado y no afectado. Se recolectaron 15 submuestras recogidas de manera aleatoria en dos profundidades (0 cm a 10 cm y 10 cm a 20 cm). En lo que respecta a las características físicas del suelo quemado, se observó un aumento de 0.125 g/cm^3 en la densidad aparente, mientras que no se detectó

ningún efecto en cuanto a color y textura. Por su parte, las características químicas del suelo afectado, presentaron aumentos en (1.055 %) de materia orgánica, nitrógeno (0.080 %), (0.250 ppm y 61 ppm) para fósforo y potasio disponible respectivamente y (4.225 meq/100g) para capacidad de intercambio catiónico. Por el contrario, se registró una disminución de 0.460 unidades en el pH del suelo quemado.

Sangucho y Vallejo (2020), en su estudio compararon las variaciones en los niveles de hidrofobicidad tanto en condiciones in situ como en laboratorio, empleando los métodos Tiempo de Penetración de Gotas de Agua (Water Drop Penetration Time) y Prueba de Gota de Etanol de Concentración (Molarity Ethanol Droplet Test), entre suelos afectados y no afectados por incendios. Los resultados obtenidos de hidrofobicidad indican que en suelos quemados y no quemados secados a 40 °C no se presentó hidrofobicidad, manteniendo así los valores establecidos en campo (no repelentes); sin embargo, a temperaturas de 65 °C y 105 °C, el suelo quemado exhibió una mayor repelencia en comparación con el suelo no afectado.

Asimismo Mataix y Arellano (2020), evaluaron los impactos del fuego en suelos de Torres del Paine (Patagonia, Chile). Para ello, analizaron un total de 69 muestras, las cuales se distribuyeron en 5 áreas caracterizadas por distintos tipos de comunidades vegetales, (Estepa patagónica, Matorral preandino y Bosque magallánico). Las muestras de suelo se recolectaron a una profundidad de 5 cm y se sometieron a análisis para determinar aspectos como la textura, la materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica y la repelencia al agua. Los resultados mostraron que tanto las zonas afectadas y no afectadas, no presentaron variaciones significativas en pH y conductividad eléctrica. Sin embargo, la materia orgánica sí presentó diferencias entre las áreas impactadas por el fuego y las no impactadas en todas las áreas medidas, con incrementos observados en las zonas 2 y 5 mientras que las zonas 1; 3 y 4 presentaron descensos. Además, se encontró que el 75 % de las muestras de suelo mostraban hidrofobicidad, una proporción considerablemente mayor en comparación con los suelos mediterráneos.

Ante este contexto, este estudio se llevó a cabo en el ámbito del territorio de la provincia de Jaén, en áreas forestales afectadas por incendios que fueron

identificados a través de la descarga de focos de calor forestales corroborados y evaluados en campo; cabe precisar que el objetivo general de la investigación fue evaluar el nivel de severidad en el suelo causado por incendios forestales en el año 2020 y como objetivos específicos (1) determinar los niveles de severidad por incendios forestales en el suelo, en la provincia de Jaén, (2) determinar la hidrofobicidad del suelo como consecuencia de la combustión, (3) evaluar el impacto del incendio en las propiedades físicas y químicas del suelo, (4) establecer gráficas comparativas de las características tanto físicas como químicas del suelo afectado y no afectado por el incendio.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y materiales

2.1.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó en el caserío El Tablón, distrito San Felipe, provincia de Jaén, región Cajamarca, localizado entre los 5°42'53.80" Latitud sur y 79°17'15.56" Longitud oeste (Figura 1).

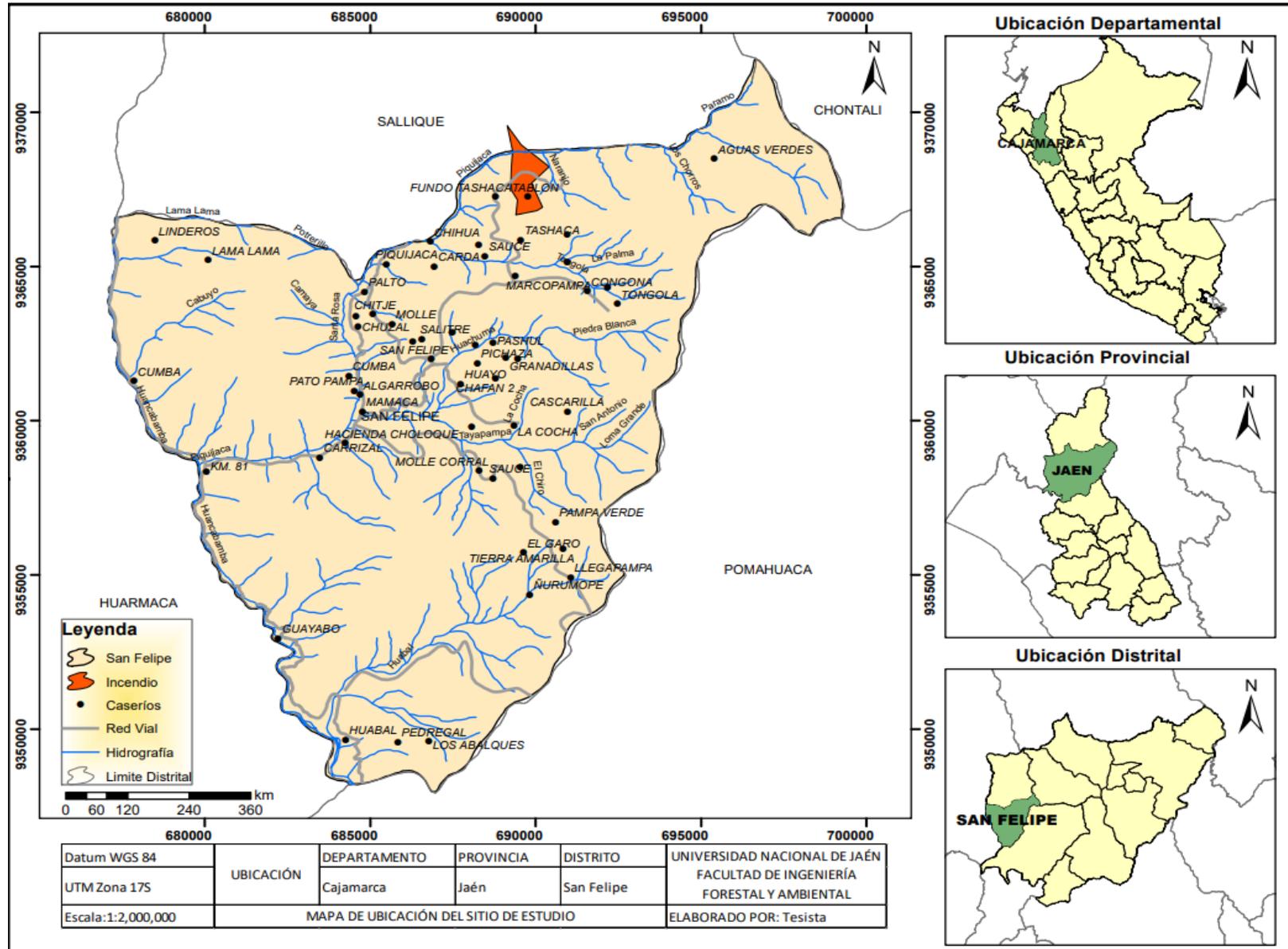
El distrito San Felipe tiene una extensión aproximada de 255.49 km² y una población de 4 693 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017). Limita al norte con los distritos de Sallique y Chontali, al sur con Pomahuaca, al este con Pomahuaca y Chontali y al oeste con el distrito de Huarmaca. La capital del distrito se encuentra a una altitud de 1 850 m s. n. m. y la precipitación pluvial anual oscila entre 500 mm a 600 mm. Su clima experimenta variaciones estacionales, con temperaturas más bajas en junio, julio y agosto mientras que en los meses de enero, febrero y marzo se presentan lluvias intensas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2018).

El área exhibe características típicas de la región de ceja de selva, con una variedad de vegetación que incluye arbustos, árboles y especies herbáceas. La topografía es accidentada, con áreas de pendiente moderada, semiplanas y fuertemente inclinadas, presentando variaciones y ondulaciones (Mora y Sernaque, 2018).

El incendio fue suscitado en la fecha 01 y 02 de noviembre de 2020, según datos del reporte de focos de calor obtenidos del FIRMS de la NASA. Fue contrastado con la información de comuneros locales obtenidas en las visitas de reconocimiento y corroboración in situ, quienes indicaron que el origen de este evento se debió a factores antrópicos, debido que en la zona los residentes se dedican a labores agrícolas y al pastoreo. En ocasiones, al quemar pequeños montículos de matorral o pajonal semiseco que se encuentran en sus chacras para acelerar la descomposición del mismo, el fuego se descontrola y se propaga afectando áreas significativas del entorno.

Figura 1

Mapa del sitio de estudio



2.1.2. Equipos, materiales, herramientas e insumos

Tabla 1

Equipos, materiales e insumos utilizados en la investigación

Actividades	Equipos, materiales, herramientas e insumos
Anotación de datos	Lapiceros
	Cinta maskin
	Papel bond A4 80 gr
	Memoria USB de 32 GB
	Libreta de notas
	Tablero
	Plumón indeleble
Recolección de muestras	Etiquetas de codificación
	Cinta métrica de 30 m
	Flexómetro de 5 m
	Bolsas herméticas de 26.8 cm x 27.3 cm
	Pala
	Machete
	Sacos de polietileno
Registro de información del sitio	Agua destilada de 500 ml
	Pipeta graduada de 3 ml
	Laptop (HP pavilion 15CW-1008LA- Ryzen 7, RAM 8GB, sistema operativo: Windows 10)
	Pilas AA
	GPS (GARMIN MAP 64S)
Material cartográfico	Cámara fotográfica (Nikon COOLPIX P1000)
	Impresora (Impresora láser electrofotográfica MFC L8900CDW, Brother)
	Base de datos FIRMS de la NASA https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov
	Geoservidor del Ministerio del Ambiente (GeoMINAM) https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geocfoi/minam/downloaddata/index

	Microsoft Windows 10
Software	Microsoft Office 2019
	ArcGIS 10.8
	R versión 3.3.0 y RStudio 4.3.1

2.2. Población

La población estuvo representada por nueve incendios forestales suscitados en la zona geográfica de la provincia de Jaén en los años 2020 y 2021.

2.3. Muestra

Representada por el incendio forestal ubicado en San Felipe con una extensión de 171 ha y superior a 100 Frecuencia Radiativa del Fuego (FRP) de intensidad calórica, elegido después de las visitas de reconocimiento y corroboración in situ, siguiendo una rigurosa selección bajo los criterios de accesibilidad (topografía y cuestiones sociales) y evidenciando que el área se encuentre con indicios del paso del fuego.

2.4. Muestreo

Se aplicó la técnica de muestreo no probabilística por conveniencia, estableciéndose puntos de muestreo al azar. Se establecieron tres zonas de muestreo (A: Plantación de Pino (*P. radiata*) quemado, B: matorral quemado y C: plantación de Pino (*P. radiata*) sin quemar), con el objetivo de tener referencias o blancos de muestras de suelos afectados y no afectadas por el fuego.

2.5. Métodos

2.5.1. Obtención de información geográfica

Las plataformas utilizadas para obtener la información geográfica fueron:

- a. Fire Information for Resource Management System (FIRMS) <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov> esta plataforma proporcionó información en shapefile de puntos de calor del Perú para los años

2020 y 2021 con información de incendios suscitados, así como de su ubicación casi a tiempo real.

- b. El Geoservidor del Ministerio del Ambiente (GeoMINAM) <https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geocfoi/minam/downloaddata/index> aportó focos de calor mensuales de incendios forestales suscitados en la Provincia de Jaén de los años 2020 y 2021, a partir de estos se creó una capa de puntos de calor forestales discriminada de las zonas urbanas, cuerpos de agua y agricultura.
- c. La Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú <https://visor.geoperu.gob.pe/> proporcionó la capa de la Provincia de Jaén en formato shapefile.

2.6. Metodología

2.6.1. Determinación de niveles de severidad en el suelo

a. Selección de focos de calor en áreas forestales

Se utilizó el software ArcGis, donde los focos de calor Modis y Viirs descargadas del FIRMS para el periodo de enero a diciembre de los años 2020 y 2021 fueron intersecados con el polígono de la Provincia de Jaén y los focos de calor forestales obtenidos del MINAM, cuyo producto fue la capa del Filtro 1, caracterizada por abarcar focos de calor forestales según el MINAM.

Para la selección final de focos de calor que se encontrasen inmersos dentro de zonas forestales de la provincia de Jaén, se realizó un segundo filtro. Para ello, se utilizó la capa de agricultura de la región Cajamarca descargados de la Zonificación Económica Ecológica (ZEE) a la cual se sometió a un proceso selección por atributos excluyendo cuerpos de agua, centros urbanos, vegetación escasa y tierras degradadas; asimismo, se realizó un recorte para obtener la capa agrícola perteneciente a la provincia de Jaén, a la cual se filtró con la capa obtenida del filtro 1 quienes fueron intersecados permitiendo obtener focos de calor de áreas agrícolas.

Luego se realizó una diferencia entre la capa del filtro 1 con la capa de focos de calor agrícolas, obteniendo la capa del filtro 2 correspondiente a focos de calor forestales de la Provincia de Jaén. Posteriormente la capa del filtro 2 fue re proyectada al sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S, donde se ubica la zona de estudio debido a que los procesos posteriores requieren de un sistema de coordenadas en metros.

b. Selección de polígonos del conglomerado de focos de calor (CFC)

Se utilizó el shape del filtro 2, aplicando criterios de tamaño e intensidad calórica cuya finalidad fue obtener la capa de conglomerados de focos de calor forestales de gran tamaño e intensos.

- **Tamaño.** Este criterio permitió agrupar los focos de calor y estimar los perímetros de los incendios forestales mayores a 100 ha ocurridos en la provincia de Jaén.
- **Intensidad calórica.** Dicho criterio permitió seleccionar focos de calor con FRP en mw/pixel. Para la obtención de FRP normalizado en mw/km² se empleó la fórmula:

$$FRP(n) = \frac{FRP}{(SCAN) \times (TRACK)} \quad \text{Ec.1.}$$

Donde:

FRP(n)= Frecuencia Radiativa del Fuego normalizado (mw/km²)

FRP = Frecuencia Radiativa del Fuego (mw/pixel)

SCAN = técnica de escaneo perpendicular del satélite en (km)

TRACK= trayectoria orbital de muestreo del satélite en (km)

Posteriormente con la ayuda de la herramienta *Kernel Density* y un radio de búsqueda de 1 500 m para el sensor Viirs, se obtuvieron valores más altos de la intensidad calórica según el tamaño de los incendios, seleccionando únicamente a los incendios mayores a 100 FRP.

Como proceso final para obtener polígonos del conglomerado de focos de calor (CFC) se realizó una selección por localización para las capas que contiene los incendios mayores a 100 ha y polígonos con FRP mayor igual a 100.

c. Establecimiento de parcelas de evaluación

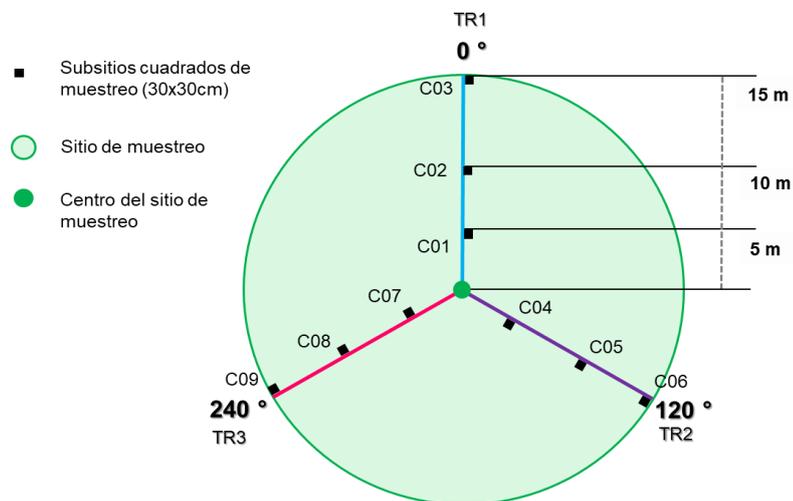
Se instalaron diez parcelas, dos parcelas de 10 m de radio y ocho parcelas de 15 m radio de acuerdo a la metodología establecida por Silva-Cardoza et al. (2021).

• Medición de coberturas visuales en subsitios de 30 cm x 30 cm

En cada parcela se establecieron tres transectos, en cada uno se ubicaron tres subsitios cuadrados de muestreo de 30 cm x 30 cm (Figura 2).

Figura 2

Ubicación de los subsitios cuadrados de muestreo



Autor: Silva-Cardoza et al. (2021)

La disposición de cada subsitio cuadrado de muestreo fueron ubicados a 3 m y 5 m en cada transecto dependiendo del radio de la parcela, luego se efectuaron mediciones sistemáticas de las coberturas que están dentro de los subsitios o cuadrantes

(Tabla 2), las categorías evaluadas incluyeron: C.HER, que denota la cobertura visual de herbáceas; C.FER, referente a la cobertura visual de la capa de fermentación; C.HOJ, que se refiere a la cobertura visual de la capa de hojarasca; C.SUE, que indica la cobertura visual del suelo desnudo; C.ROE, relacionada con la cobertura visual de roca expuesta; y C.CEN, representativa de la cobertura visual de ceniza mineral. La suma total de estas categorías equivalió al 100% (Silva-Cardoza et al., 2021).

Tabla 2

Datos sobre severidad del componente suelo

⁽⁴³⁾ CDR	Cobertura por estrato en cuadrantes (%)						Cobertura por nivel de severidad en el suelo (%)						⁽⁵⁹⁾ Observaciones
	⁽⁴⁷⁾ HER	⁽⁴⁸⁾ FER	⁽⁴⁹⁾ HOJ	⁽⁵⁰⁾ SUE	⁽⁵¹⁾ ROE	⁽⁵²⁾ CEN	⁽⁵³⁾ 0	⁽⁵⁴⁾ 1	⁽⁵⁵⁾ 2	⁽⁵⁶⁾ 3	⁽⁵⁷⁾ 4	⁽⁵⁸⁾ 5	
C01													
C02													
C03													
C04													
C05													
C06													
C07													
C08													
C09													

Autor: Silva-Cardoza et al. (2021)

• **Determinación de niveles de severidad en suelo**

Para la determinación de los niveles de severidad en el componente edafológico se desarrolló siguiendo la tipología de severidad desarrollado por Vega et al. (2013), considerando cinco niveles (Tabla 3).

Tabla 3*Niveles de severidad*

Nivel de Severidad	Cubierta orgánica	Suelo mineral superficial
1. Muy bajo	La capa de vegetación en el suelo se mantiene visible. La capa superior de hojarasca parcial o completamente afectada por el fuego. La capa inferior de materia orgánica se ha visto mínimamente consumida.	No se observan modificaciones en el matiz del suelo. Su estructura permanece intacta y las raíces superficiales no se han consumido. La repelencia al agua en la superficie, inherente al suelo (especialmente en condiciones secas), no ha sido afectada por el fuego
2. Bajo	Permanecen considerables restos carbonizados de hojarasca y mantillo consumidos sobre el suelo mineral íntegro, en ocasiones se observan residuos de ceniza mineral.	No se perciben alteraciones cromáticas en el suelo. Su estructura permanece intacta y las raíces superficiales finas no han sufrido daños. La repelencia natural al agua en la superficie del suelo, especialmente en condiciones de sequedad, se mantiene inalterada tras el incendio.
3. Moderado	El estrato orgánico del suelo ha sido totalmente consumido. Puede existir una capa de ceniza mineral de grosor variable.	El suelo se encuentra sin cobertura vegetal. La materia orgánica del suelo no ha sido degradada y su superficie se mantiene sin cambios tras el incendio. La coloración del suelo es oscura debido al depósito de carbón. Su estructura se mantiene, y aunque las raíces finas superficiales pueden estar parcialmente afectadas, no se consumen en su totalidad. Además, se observa repelencia en la superficie del suelo.
4. Alto	El agotamiento completo de la cubierta orgánica del suelo se manifiesta con una tonalidad gris predominante, acompañada por una notable acumulación de ceniza mineral.	El suelo se encuentra desprovisto de cobertura vegetal. La descomposición completa de la materia orgánica del suelo es evidente, acompañada por una notable pérdida de la estructura y la degradación de las raíces más finas. A diferencia de lo observado en la superficie, no se detecta repelencia al agua, siendo común encontrarla en los centímetros subsiguientes en función de la profundidad.
5. Muy alto	Degradación completa de la capa orgánica que recubre el suelo.	Suelo desnudo. La degradación completa de la materia orgánica del suelo es evidente, con un predominio de tonos naranja a rojizos en el color del suelo. La pérdida de estructura es notoria, al igual que la descomposición de raicillas. En la capa superficial del suelo, no se observa repelencia al agua, y si en los centímetros inmediatamente debajo de la superficie.

Fuente: Vega et al. (2013).

La medida de la severidad en el suelo es el resultado del promedio de la cobertura ponderada de cada uno de estos niveles (1-5) (Tabla 3), escalado de 1 a 100 para homogeneizar con las unidades de la severidad en la vegetación (%).

$$PSU_i = \frac{\sum_i CNS1_i * 1 + CNS2_i * 2 + CNS3_i * 3 + CNS4_i * 4 + CNS5_i * 5}{100} * 20 \quad \text{Ec. 2.}$$

Dónde:

PSU_j = Porcentaje de severidad en el suelo del j-ésimo subsitio cuadrado de muestreo (%), $CNS1$ = Cobertura del nivel de severidad 1 (muy baja) del j-ésimo subsitio, $CNS2$ = Cobertura del nivel de severidad 2 (baja), $CNS3$ = Cobertura del nivel de severidad 3 (media), $CNS4$ = Cobertura del nivel de severidad 4 (alta), $CNS5$ = Cobertura del nivel de severidad 5 (extrema).

2.6.2. Determinación de la hidrofobicidad del suelo

La evaluación del tiempo de penetración de la gota de agua conocido como Water Drop Penetration Time (WDPT), consistió en la aplicación de una gota de agua sobre la superficie del suelo, seguida por el registro del lapso requerido de tiempo para que el agua se infiltre en el suelo. A través de este procedimiento, se logró obtener una indicación cuantitativa del período durante el cual la hidrofobicidad permanece en la superficie porosa del suelo (Jordán et al., 2010).

Se instaló tres parcelas de 10 m de radio. Dos parcelas en suelos afectados por el incendio, la primera parcela (P1), se estableció dentro de la plantación de Pino (*Pinus radiata*) y la segunda parcela (P2), ubicada en matorral y una tercera parcela (P3), ubicada en suelo no afectado de vegetación compuesta por plantación de *P. radiata*.

Siguiendo la metodología de Bisdom et al. (1993), en cada parcela se delimitaron 2 micro parcelas de 10 cm x 10 cm, previamente se eliminaron todos los restos orgánicos de la superficie, utilizando una micropipeta graduada se aplicaron 10 gotas de agua destilada en la

superficie del suelo mineral y 10 gotas a 1 cm de profundidad, en las fichas de campo se anotó el tiempo requerido para que cada gota de agua se infiltre por completo, este proceso se repitió para las tres parcelas evaluadas.

La Tabla 4 presenta las clases de repelencia, clasificados en intervalos que van desde el grado hidrofílico; donde $WDPT \leq 5$ s, hasta el grado de repelencia extrema, donde $WDPT > 3600$ s según Bisdom et al. (1993).

Tabla 4

Clases e intervalos de repelencia al agua según el método WDPT

WDPT		
Clase	Tiempo (s)	Grado
0	0-5s	Hidrofílico
1	5s-60s	Ligeramente repelente
2	60s-600s	Fuertemente repelente
3	600s-3600s	Severamente repelente
4	>6h	Extremadamente repelente

Fuente: Bisdom et al. (1993)

2.6.3. Evaluación del impacto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo

a. Muestreo y determinaciones

Se procedió a evaluar las propiedades tanto físicas como químicas de los suelos mediante la metodología previamente empleado por Camargo et al. (2012).

Para la colecta de muestras se utilizó una pala, regla graduada en centímetros y bolsas herméticas previamente etiquetadas. Se limpió el suelo quitando la hojarasca y las cenizas restantes, el muestreo se realizó a las profundidades de 0 cm a 25 cm por cada sitio de muestreo, esta selección de profundidad consideró la representatividad del suelo que fue más afectada por el incendio.

Para llevar a cabo el análisis de las características físicas y químicas de suelo afectado se procedió a la colecta de las muestras, donde se instaló seis parcelas de 10 m x 10 m, considerando dos parcelas dentro de plantación de *P. radiata* afectada por el incendio (N-01), dos parcelas dentro de matorral afectado (N-02) y dos parcelas instaladas en suelo no afectado de *P. radiata* (N-03) (Tabla 5).

En cada parcela, se efectuó una colecta compuesta por tres submuestras, distribuidos de forma aleatoria. En total se obtuvieron doce submuestras recogidas de suelo afectado y seis muestras obtenidas de suelos no afectados. Posteriormente, se procedió al secado bajo sombra, tamizado y la homogeneización de las muestras por separado, con la finalidad de obtener en total 1 kg de muestra por tipo de vegetación afectada.

Tabla 5

Distribución de parcelas por tipo de vegetación

Muestra	Tipo de vegetación	Parcelas instaladas
N-01	Plantación de Pino (<i>P. radiata</i>) quemado	02
N-02	Matorral quemado	02
N-03	Plantación de Pino (<i>P. radiata</i>) sin quemar	02

Las tres muestras se enviaron al Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas, pertenecientes al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas para su posterior análisis.

Las propiedades químicas analizadas comprendieron: el pH, salinidad (CE), Materia Orgánica (M.O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Aluminio intercambiable (Al) (Tabla 6).

Tabla 6*Propiedades químicas evaluadas y métodos de determinación*

Propiedad	Método
pH	Medida en el potenciómetro de la suspensión en el suelo
Salinidad (CE)	Medida en la conductividad eléctrica CE del extracto acuoso en la relación del suelo 1:1 Método ISO11265
Fósforo	Método de Olsein modificado, extracción con NaHCO ₃ 0.5M, pH 8.5
Potasio	Extracción con acetato de amonio
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Saturación con acetato de amonio
Ca ²⁺ Mg ²⁺ k ⁺ Na ²⁺	Reemplazamiento con acetato de amonio
N	pH 7.0 cuantificación por fotometría de emisión atómica
Al ³⁺ + H ⁺	Método de Yuan: extracción con KCl, N
Materia orgánica (M.O)	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico dicromato de potasio

La textura del suelo fue la propiedad física medida (expresada en porcentajes de arena, limo y arcilla) (Tabla 7).

Tabla 7*Propiedad física evaluada y métodos de determinación.*

Propiedad	Método
Textura del suelo:	Método del hidrómetro
% de arena, limo y arcilla	Método de BOUYOUCOS /AS-09 NOM-021-RECNAT-2000

III. RESULTADOS

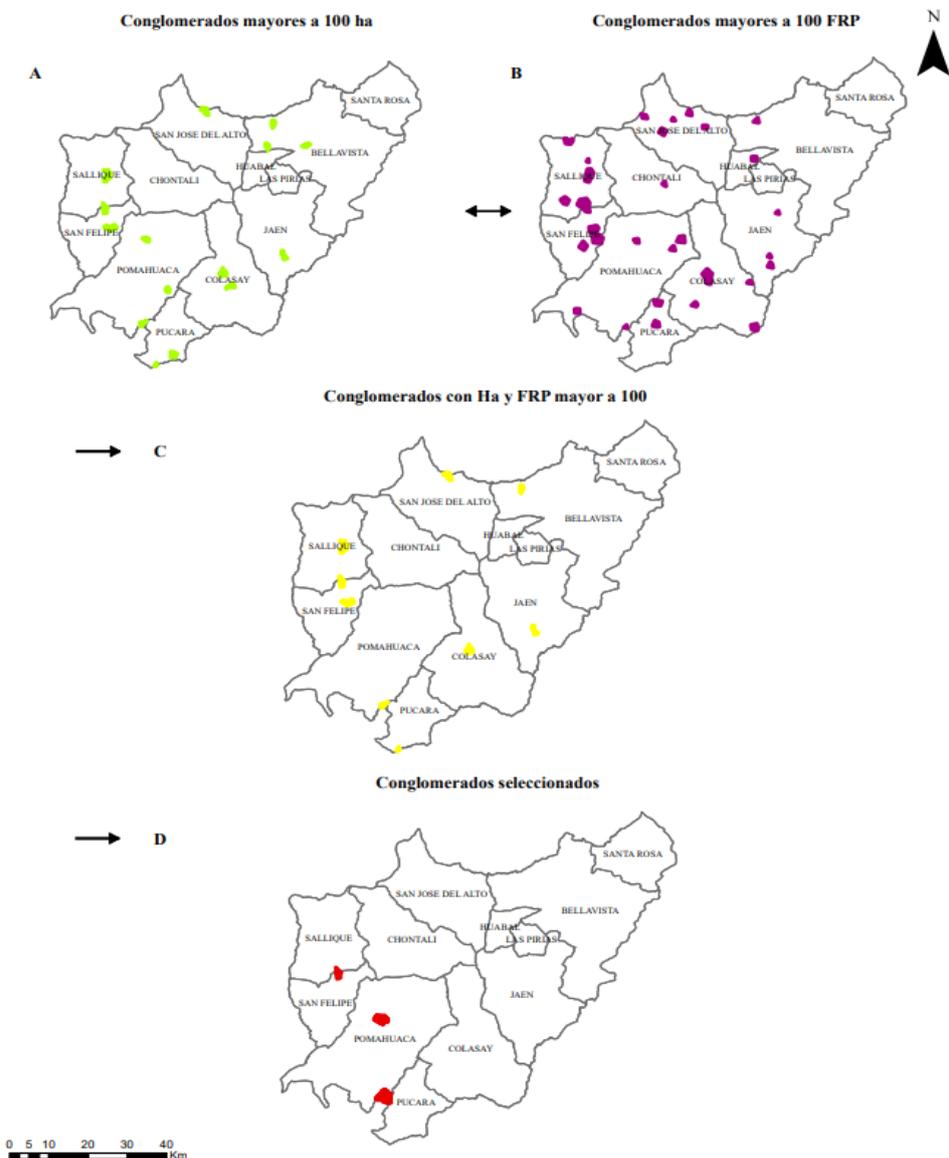
3.1. Severidad del incendio forestal en el componente edafológico

3.1.1. Identificación de áreas afectadas por incendios

Los conglomerados mayores a 100 ha fueron 15 (Figura 3A), con FRP mayor a 100 igual 30 (Figura 3B), de la unión entre ellos surgió 9 conglomerados (Figura 3C), seleccionando 3 ubicados en Pucará, Pomahuaca y San Felipe (Figura 3D). Considerando criterios de inclusión y exclusión se eligió al incendio ubicado en San Felipe con una extensión de 171 ha.

Figura 3

Selección de conglomerados según criterios empleados

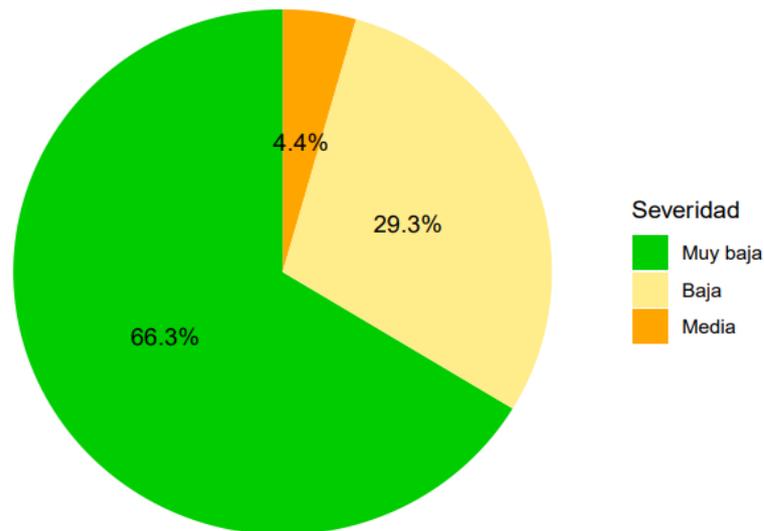


3.1.2. Niveles de severidad

La Figura 4 muestra niveles de severidad producto del incendio forestal en el suelo según las categorías predefinidas, donde del total de las parcelas evaluadas el 66.3% presenta severidad muy baja, el 29.3% severidad baja y el 4.4 % corresponde a severidad media.

Figura 4

Niveles de severidad en el componente edafológico



3.2. Determinación de la repelencia del suelo

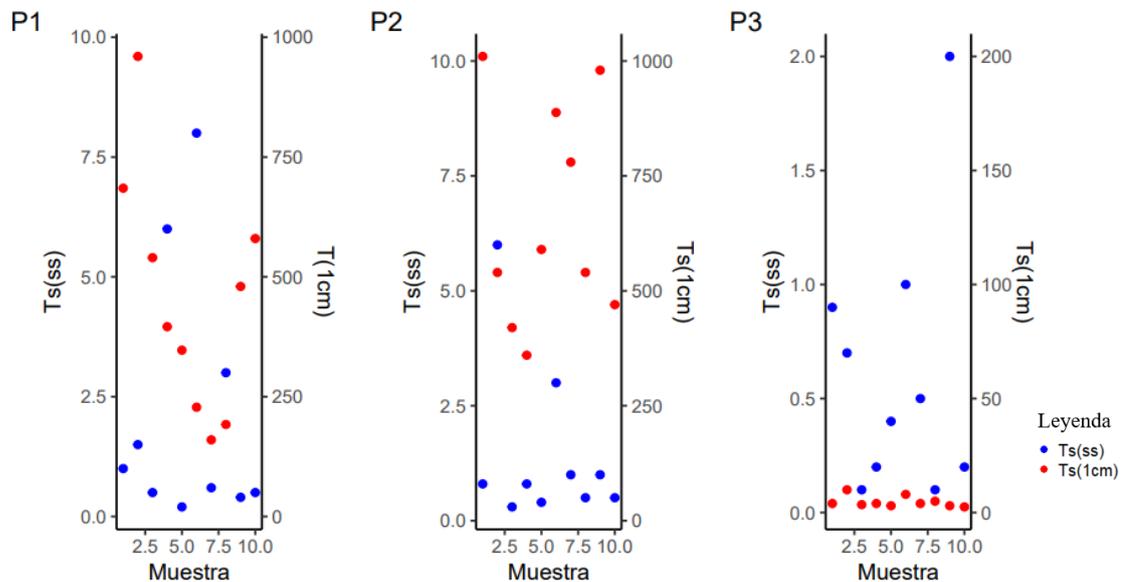
3.2.1. Tiempo de repelencia al agua en suelos evaluados

La Figura 5 presenta el tiempo en segundos (s) a suelo superficial $T_s(ss)$ y a 1 cm de profundidad $T_s(1\text{ cm})$ de las parcelas P1, P2 y P3.

En P1 a suelo superficial el tiempo de infiltración está por debajo de los 10 s y a 1 cm de profundidad el tiempo de infiltración se encuentra próximo a 1 000 s. Por su parte en P2 a suelo superficial el tiempo es de 6 s mientras que a 1 cm de profundidad el tiempo supera los 1 000 s. Los valores de tiempo a suelo superficial en P3 llegan a 2 s; por su parte, el tiempo a 1 cm de profundidad no supera los 10 s.

Figura 5

Distribución de puntos de muestreo WDPT en segundos



Nota: P1 (parcela quemada plantación de pino). P2 (parcela quemada matorral). P3 (parcela no quemada *P. radiata*). Ts(ss) (tiempo en segundos a suelo superficial). Ts(1cm) (tiempo en segundos 1 cm de profundidad)

3.2.2. Clasificación de la repelencia al agua del suelo evaluado

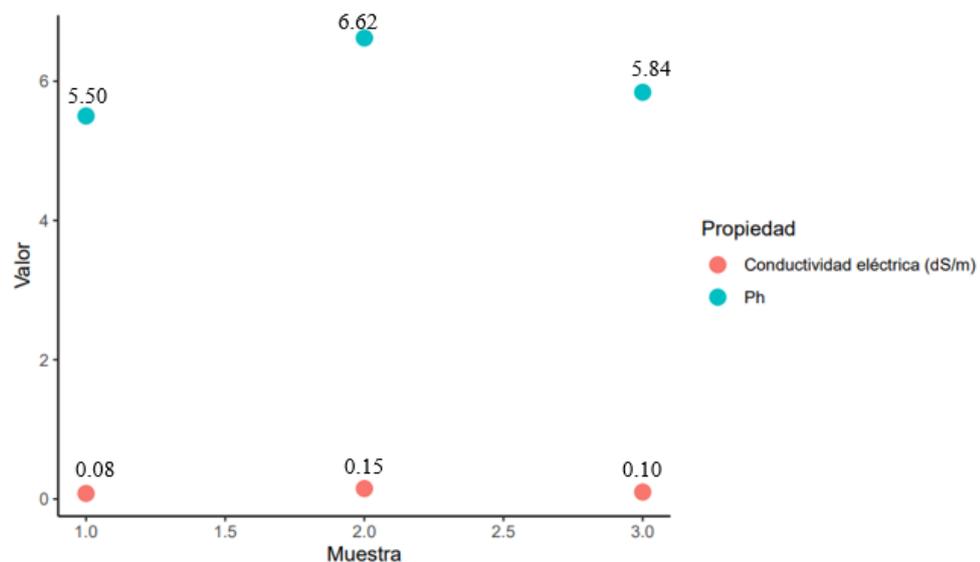
El predominio de un tipo de repelencia en las muestras de suelo quemado a 1 cm de profundidad entre el 60% al 80 % perteneciente a clase 2, y a suelo superficial de 80% al 90 % correspondiente a clase 0. Esto indica que, la mayoría de muestras evaluadas a 1 cm de profundidad en suelo afectado presentan el grado fuertemente repelente, en contraste con las muestras de suelo superficial las cuales muestran un grado hidrofílico. Sin embargo, en la parcela no quemada el grado de repelencia es hidrofílico, tanto a suelo superficial como a 1 cm de profundidad (Tabla 8).

Tabla 8*Clasificación de repelencia al agua WDPT de las parcelas evaluadas*

Parcelas	A suelo superficial			A 1cm de profundidad		
	Clase	Grado	%	Clase	Grado	%
	WDPT	WDPT	Muestras	WDPT	WDPT	Muestras
1	0	H	80	2	FR	80
2	0	H	90	2	FR	60
3	0	H	100	0	H	80

3.3. Resultados de la evaluación de las propiedades físicoquímicas del suelo**• pH y Conductividad eléctrica (dS/m)**

La Figura 6 indica que el pH del suelo quemado en N-01 exhibe disminución en 0.34 unidades en comparación al suelo no quemado N-03. Mientras que en la muestra N-02 el pH aumenta en 0.78 unidades en relación a N-03. En cuanto a la conductividad eléctrica, presentó una reducción de 0.02 dS/m entre N-01 y N-03; sin embargo, los resultados aumentan en 0.05 el valor para N-02 en relación al área no quemada.

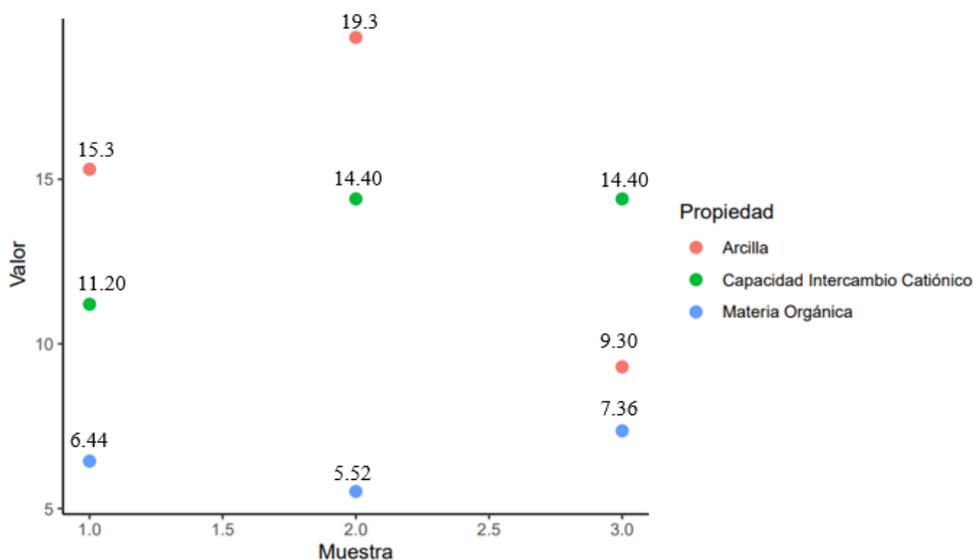
Figura 6*Valores de pH y Conductividad eléctrica (dS/m)*

• Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Está vinculada al contenido de materia orgánica y arcilla, la CIC presentó valores de 11.20 meq/100g para el área quemada N-01 y 14.40 meq/100g para las áreas N-02 y N-03. Estos resultados muestran disminución de 3.20 meq/100 g entre la muestra N-01 y N-03. Por el contrario, se mantiene el mismo valor de C.I.C. para la muestra N-02 (Figura 7).

Figura 7

Resultados de CIC (meq/100 g)

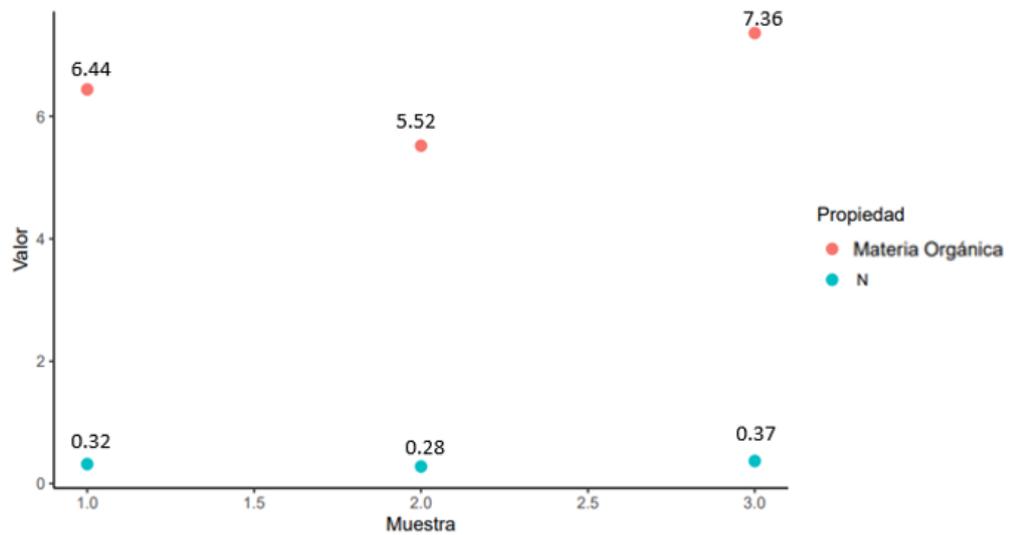


• Materia orgánica (M.O) y Nitrógeno (N)

La materia orgánica presenta valores de 7.36% para área no quemada y en áreas quemadas valores de 6.44% y 5.52% para las muestras N-01 y N-02 respectivamente, evidenciando que ha disminuido en 0.92% y 1.84% entre las muestras N-01 y N-02 con relación al área no quemada. Por otra parte, el nitrógeno presenta disminución en 0.05% y 0.09% entre las muestras quemadas y no quemada (Figura 8).

Figura 8

Materia orgánica y Nitrógeno

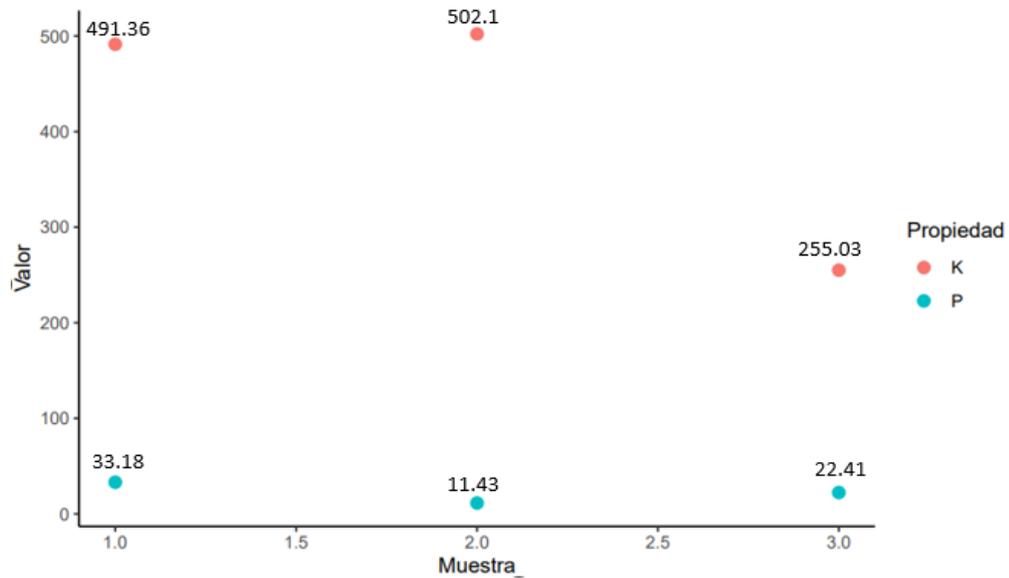


• **Fósforo (P) y Potasio (K)**

El fósforo en áreas quemadas N-01 y N-02 tiene valores de 33.18 ppm y 11.43 ppm, mientras que en área no quemada N-03 presentó 22.41 ppm. Asimismo, los valores de potasio en N-01 y N-02 es de 491.36 ppm y 502.1 ppm respectivamente, por su parte N-03 presentó 255.03 ppm valor inferior al obtenido en las áreas quemadas. Además, los resultados del contenido de K en las áreas quemadas N-01 y N-02 han aumentado en 236.33 ppm y 247.07 ppm respectivamente con respecto al área no quemada. Asimismo, el contenido de P en el área quemada N-01 aumentó 10.77 ppm mientras que el área quemada N-02 presentó disminución en 10.98 ppm (Figura 9).

Figura 9

Fósforo y Potasio

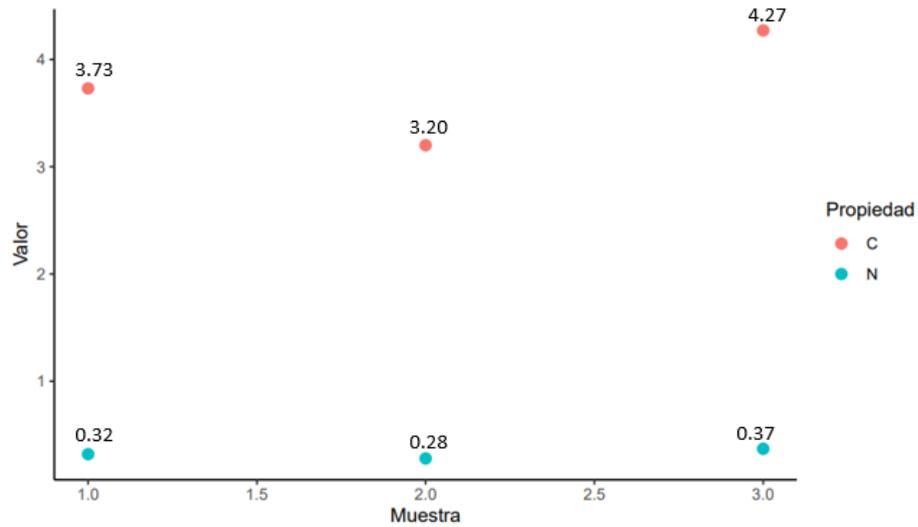


• **Carbono (C) y Nitrógeno (N)**

Las concentraciones de carbono son de 3.73% y 3.20% en áreas quemadas N-01 y N-02, mientras que en parcela no quemada N-03 tiene valor de 4.27%. Por su parte el nitrógeno presentó valores de 0.32%, 0.28% y 0.37% para las muestras N-01, N-02 y N-03 respectivamente. La concentración de carbono presentó una disminución de 0.54% y 1.07% para las muestras N-01 y N-02 con relación al área no quemada. Por su parte, el nitrógeno disminuyó en el suelo después del incendio en 0.92% y 1.84% para las muestras quemadas con relación a la muestra no quemada por el incendio (Figura 10).

Figura 10

Carbono y Nitrógeno

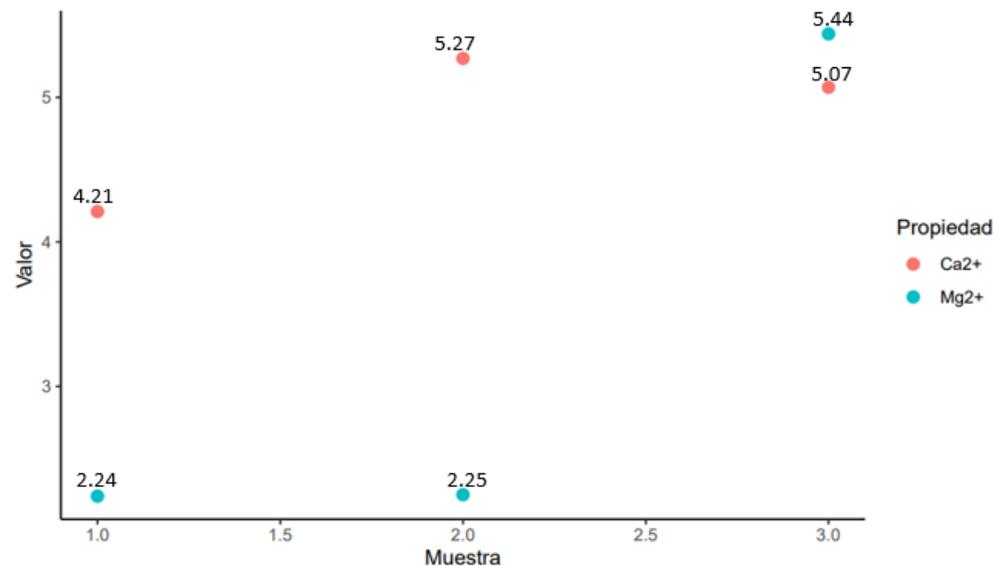


• **Catión Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+})**

La concentración de Ca^{2+} disminuyó en 0.86 (meq/100g) para N-01, por el contrario, N-02 presentó un aumento en 0.20 (meq/100g) con relación al área no quemada. Por otra parte, Mg^{2+} disminuyó en el suelo después del incendio tanto en N-01 y N-02 con valores de 3.20 (meq/100g) y 0.19 (meq/100g) respectivamente (Figura 11).

Figura 11

Catión Calcio y Magnesio

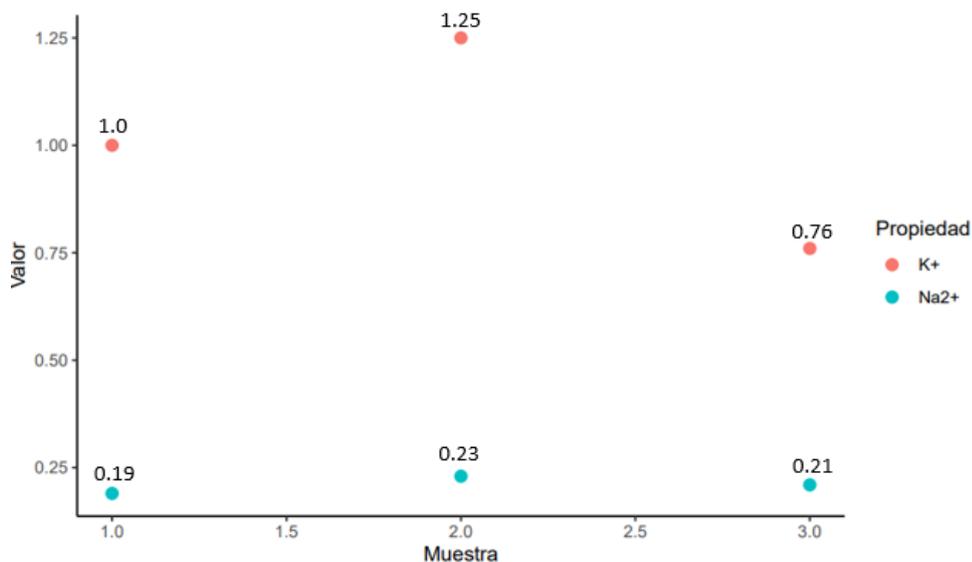


• Cati3n Potasio (K²⁺) y Sodio (Na²⁺)

La concentraci3n de cati3n K²⁺ aument3 0.24 (meq/100g) y 0.49 (meq/100g) para las muestras N-01 y N-02 con relaci3n al 3rea no quemada. Por otra parte, en el 3rea quemada N-01 el cati3n Na²⁺ disminuy3 en 0.02(meq/100g) mientras que el 3rea quemada N-02 mostr3 un aumento en 0.02(meq/100g) (Figura 12).

Figura 12

Cati3n Potasio y Sodio

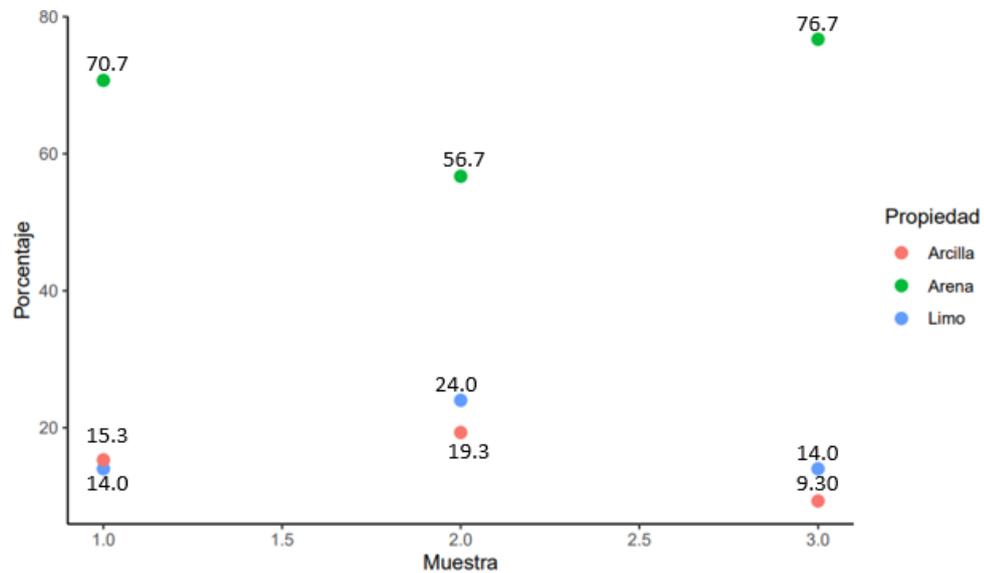


• Textura del suelo evaluado

La composici3n granulom3trica del suelo revela una textura Franco Arenosa (Fr. A.), tanto para las muestras de 3rea quemada y no quemada. El an3lisis granulom3trico del suelo, indica que el porcentaje de arena entre las muestras N-01 y N-02 disminuyen en 6% y 20% con relaci3n al 3rea no quemada. Por su parte, los valores de limo en 3rea quemada N-01 es igual que el 3rea no quemada N-03, sin embargo, en N-02 se evidencia un aumento de 10% en relaci3n a N-03. En cuanto al porcentaje de arcilla, las muestras quemadas N-01 y N-02 aumentan en 6% y 10% en relaci3n a la muestra N-03 (Figura 13).

Figura 13

Porcentaje de la textura del suelo

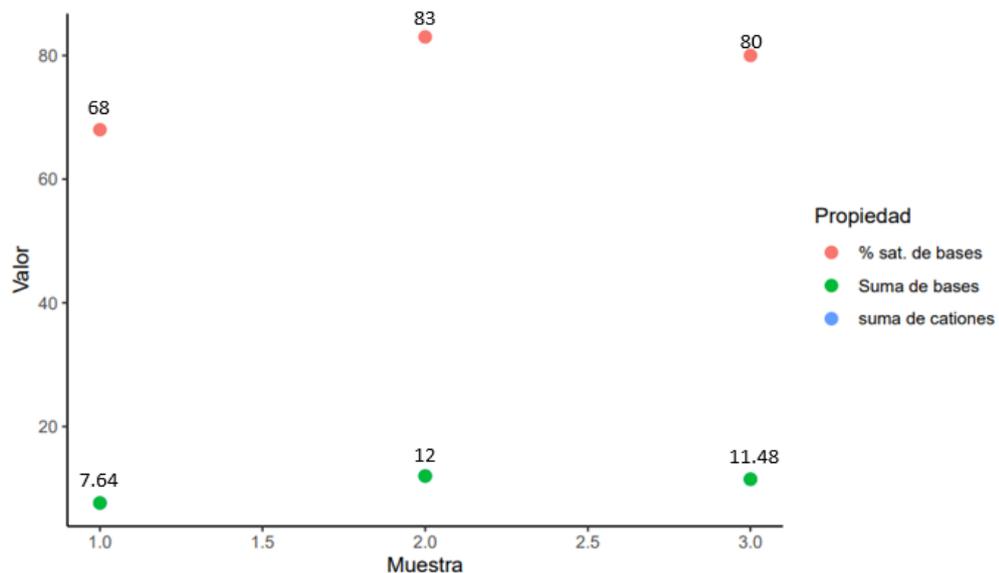


• **Suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases**

La Figura 14, muestra que tanto la suma de cationes y de bases presentaron una disminución de 3.84 meq/100 g para las muestras de suelo quemado N-01; lo que no ocurre con la muestra N-02, que aumentó en 0.52 meq/100g. Por otra parte, si comparamos el porcentaje de saturación de bases de N-01 con el área no quemada, se evidencia una disminución de 12 meq/100 g, al contrario, el área quemada N-02 aumentó en 3 meq/100g.

Figura 14

Suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases



IV. DISCUSIONES

Severidad del incendio en el componente edafológico

Del total de las parcelas evaluadas, el 66.3% del componente edafológico presentó severidad muy baja, con persistencia de cubierta orgánica muerta del suelo, los estratos de hojarasca, mantillo inferior consumido sólo de manera limitada. Finalmente el suelo mineral superficial no presentó cambio de color; resultado acorde con Vega et al. (2013), que en su estudio realizado en masas forestales compuestas por bosques de pinos afectadas por el fuego en la región de (Galicia, España), determinaron que la severidad muy baja del suelo presenta la cubierta orgánica muerta todavía reconocible; además, los estratos de hojarasca y mantillo inferior consumido de forma limitada.

Asimismo, el 29.3% de parcelas obtuvo severidad baja con presencia de abundantes restos carbonosos de la consunción de la hojarasca y mantillo sobre el suelo mineral intacto, además las raíces finas superficiales no se han consumido, coincidiendo con Parsons et al. (2022), quienes indican que en nivel de baja severidad las capas orgánicas superficiales no resultan consumidas y siguen siendo identificables; además, notaron que la estructura estable de los agregados en el suelo no sufren alteraciones a causa del fuego, y las raíces tampoco experimentan cambios significativos. Esto es debido a que el calor que se propaga por debajo de la superficie del suelo no es lo suficientemente intenso para consumir o carbonizar cualquier material orgánico que se encuentre debajo. Además, la superficie del suelo, incluyendo las áreas donde se expone el suelo mineral, podría mostrar un tono marrón o negro con un leve rastro de carbonización, exhibiendo fragmentos carbonizados provenientes de la quema de hojarasca y materia orgánica sobre el suelo mineral que permanece intacto (Vega et al., 2013).

Finalmente, el 4.4% corresponde a severidad media, en este nivel el suelo evaluado presentó tonos negros debido al consumo de la cobertura vegetal del suelo anterior al incendio y a la presencia de carbón depositado donde las raíces finas superficiales fueron parcialmente consumidas. De forma similar Vega et al. (2013) y Parsons et al. (2022), mencionan que hasta un 80% de la capa superior del suelo previa al incendio (incluyendo la hojarasca y los materiales combustibles del suelo) es posible ser consumida, aunque las raíces finas pueden verse afectadas por el fuego, raras veces son completamente consumidas. Además el color predominante del sitio

es a menudo "marrón" debido a las agujas del dosel y a la quema de otra vegetación y la estructura del suelo no suele cambiar (Parsons et al., 2022).

En plantación de *P. radiata*, los niveles de severidad en el suelo indican que el 43.5% del área presentó severidad muy baja, donde la estructura y el color del suelo se mantuvieron inalterados, resultado acorde con investigaciones previas realizadas por Vega et al. (2013) y Parsons et al. (2022), quienes en sus estudios desarrollados en bosques mixtos de coníferas, encontraron niveles muy bajos de severidad. El 34.5% del área exhibe nivel bajo de severidad, donde se observó que la capa superficial de hojarasca estuvo parcialmente carbonizada o consumida. Sin embargo, las estructuras foliares carbonizadas siguen siendo reconocibles y el suelo mineral fue visible con manchas discretas de ceniza. De acuerdo con las investigaciones previas mencionadas, la estructura del suelo y las raíces no han experimentado debilitamiento significativo debido a la pérdida de materia orgánica. Por último, aproximadamente el 22% del área presentó severidad media, caracterizada por un mayor consumo de materia orgánica en la parte superior del perfil del suelo (hasta 1 cm de profundidad). Aunque la mayor parte de la hojarasca superficial fue carbonizado o consumido, se observó ceniza ennegrecida o gris en la superficie. Sin embargo, según Parsons et al. (2022), es poco probable que la estructura del suelo y las raíces se vean significativamente alteradas en estas áreas.

Determinación de la hidrofobicidad del suelo

Los porcentajes de repelencia obtenidos en las muestras de suelo quemado (pino y matorral) a 1 cm de profundidad están entre el 60% al 80 % que corresponde a clase 2 de grado fuertemente repelente. Este resultado coincide con Ulloa et al. (2014), quienes identificaron los niveles más altos de persistencia en la repelencia al agua a los cuatro meses posteriores al incendio, esto permitió categorizar el suelo afectado como "Fuertemente Repelente" y a suelo superficial de 80% al 90% correspondiente a clase 0 de grado hidrofílico. Sin embargo, en la parcela no afectada por el incendio, el grado de repelencia sigue siendo el mismo (Hidrofílico), tanto a suelo superficial como a 1 cm de profundidad. Estos resultados guarda relación con los obtenidos por Jiménez-Pinilla et al. (2013), donde se incrementó la repelencia al agua sólo en parcelas quemadas de pino y matorral; sin embargo, en las parcelas no quemadas, los valores de la hidrofobicidad fueron menores debido a que no sufrieron cambios o alteraciones. La aparición de la repelencia al agua se

atribuye a la incorporación en el suelo de la biomasa vegetal a medida que la vegetación se recupera tras la ocurrencia del incendio forestal (Bodí et al., 2012). De acuerdo a los datos obtenidos, se puede inferir que el suelo afectado por el fuego en las áreas de estudio alcanzó una temperatura inferior a 270 °C, ya que según De Bano (2000), la formación de una capa repelente al agua se intensifica a temperaturas inferiores a este nivel; en contraste, temperaturas cercanas a los 400°C provocan la descomposición de la mayoría de los compuestos hidrófobos. Además, estudios realizados por Rodríguez-Alleres et al. (2005), quienes analizaron los impactos del incendio forestal en la repelencia al agua en un área afectada por el fuego en comparación con una zona que no fue afectada, que presentaba inicialmente una repelencia extrema al agua (con tiempos de penetración de gota de agua, WDPT entre 3 h a 6 h y más de 6 h) hasta una profundidad de 10 cm, posterior al incendio la repelencia al agua desapareció o disminuyó significativamente en los primeros 2 cm del suelo; no obstante, se mantuvo en un nivel extremo en la profundidad comprendida entre 2 cm y 20 cm.

En esta investigación, el grado hidrofílico va desde el 80% al 100 % de las muestras a suelo superficial, abarcando tanto las áreas no afectadas como las afectadas por el fuego, sin manifestar diferencias significativas entre ambos, resultado similar al obtenido por Sangucho y Vallejo (2020), donde el grado es hidrofílico para muestras de suelo afectado por el fuego y no afectado a nivel superficial. Para Mataix-Solera & Guerrero (2011), este fenómeno está fuertemente influenciado por las características y propiedades del suelo, las cuales pueden determinar su evolución durante el incendio. La hidrofobicidad es una característica que emerge con frecuencia después de los incendios, si bien su presencia también se vincula con diversos tipos de suelos en diferentes regiones y climas del mundo (Jordán et al., 2010), en suelos hidrofóbicos, el proceso de infiltración puede experimentar un retraso o incluso quedar impedido, la velocidad a la que el agua se infiltre por completo en el suelo dependerá de la durabilidad de esta hidrofobicidad. En casos donde esta propiedad persiste, el agua puede requerir más tiempo para adentrarse en el suelo, o bien, puede ingresar a través de caminos preferenciales en el perfil del suelo si este presenta heterogeneidades en la superficie, como áreas con características hidrofílicas e hidrofóbicas (Bodí et al., 2012).

Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo

• pH y Conductividad eléctrica (dS/m)

El muestreo de suelo indicó disminución del pH de 0.34 unidades entre el área afectada (N-01) y no afectada (N-03). Este resultado concuerda con Alva y Manosalva (2019), quienes obtuvieron reducción en 0.27 unidades para parcelas parcialmente afectadas y 0.17 unidades para parcelas totalmente afectadas con referencia al área no afectada por el incendio. De igual forma Casas, (2019), registró una disminución de 0.46 unidades en el pH del suelo quemado en plantaciones, este fenómeno puede ser atribuido al lavado y arrastre de cationes durante periodos de lluvias intensas, lo que podría resultar en valores más bajos en el área impactada (Martínez et al., 1991). No obstante, los valores de pH para las muestras de matorral (N-02) aumentan en 0.78 unidades. Para Capulín et al. (2010), tras la ocurrencia de un incendio, es común que el pH experimente un aumento, principalmente debido a la contribución de cenizas que aportan óxidos, carbonatos y cationes básicos resultantes de la quema de materia orgánica. También Mejía (2023), observó un incremento de 0.08 unidades en el pH promedio en la zona afectada en comparación con la zona no afectada a profundidad de 0 cm a 10 cm en plantación de *P. pátula* cuatro años después del incendio. En particular Martínez et al. (1991), atribuyeron este aumento a las cenizas provenientes del incendio, quienes contienen una notable cantidad de carbonato potásico (K_2CO_3) que, debido a su origen como ácido débil y base fuerte, exhibe una reacción alcalina cuando se hidroliza.

La conductividad eléctrica de la muestra N-01 con relación a la muestra N-03, evidencia una disminución de 0.02 dS/m clasificando al suelo como muy levemente salino ($CE < 2dS/m$), igualmente Domínguez (2016) y Mejía (2023), notaron que después del incendio, el área afectada presentó valores menores en comparación con el área no afectada. Por el contrario, la muestra N-02 presentó un valor 0.05 mayor al valor de la muestra N-03; tiene concordancia con Capulín et al. (2010), quienes registraron aumentos en la conductividad eléctrica del suelo tras un incendio, por su parte Bodí et al. (2012), estos valores pueden regresar a niveles previos al incendio e incluso ser inferiores después de uno o dos años, debido a la eliminación de cenizas y hollín.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La comparación entre la muestra N-01 y N-03 evidenció que ha disminuido en 3.20 meq/100g, completamente similar a Mejía (2023), que evidenció que la CIC disminuyó en 1.07 meq/100g, fenómeno el cual puede atribuirse a la reintroducción de materia orgánica al suelo, la cual contribuye significativamente a la CIC posterior a un incendio forestal (Becerra et al., 2004; Alva y Manosalva, 2019). Gil et al. (2010), sostienen que la disminución de la CIC es el resultado de la degradación de coloides orgánicos e inorgánicos, particularmente en los primeros centímetros del suelo. La magnitud de esta disminución está sujeta a variables como el contenido de materia orgánica, el grado de severidad del incendio, la cantidad y la composición de minerales de arcilla, el nivel de humedad del suelo y la pendiente del terreno.

- **Materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N)**

Tanto para N-01 y N-02 el contenido de materia orgánica disminuyó con respecto al área no quemada. Este comportamiento se debe a la concentración más alta de restos vegetales presentes en los primeros 10 cm del suelo, pues esta investigación el rango de muestra fue de 0 cm hasta los 25 cm de profundidad, similar a lo obtenido por Alva y Manosalva (2019), que en el rango de 10 cm a 20 cm de profundidad, en todas las parcelas evaluadas, se redujo el contenido de materia orgánica en comparación con los 10 primeros centímetros de suelo, este declive se asocia con la disminución tanto en la cantidad de residuos orgánicos como en el número y actividad de las poblaciones microbianas implicadas en procesos de mineralización y humificación (Pritchett, 1991).

Autores como Capulín et al. (2010) y La Manna y Barroetaveña, (2011), reportan disminución del contenido de materia orgánica del suelo del 34% al 45.9% respectivamente. Por el contrario Gil et al. (2010), indican que los compuestos húmicos presentes en la capa superficial del suelo empiezan a descomponerse alrededor de los 100 °C durante un incendio, y su completa destrucción se produce en temperaturas cercanas a los 500 °C.

En relación al nitrógeno total todas las muestras quemadas presentan disminución en su contenido, coincidiendo con Alva (2019) y Mataix-Solera y Guerrero

(2014), que indican la desaparición de vegetación tras un incendio de superficie y/o subterráneo ocasionan la reducción de materia orgánica, nitrógeno y la alteración en la estructura del suelo. Por el contrario Casas (2019), en su estudio mostró que en el suelo afectado por el fuego los valores de nitrógeno son superiores a los del suelo no afectado, atribuyendo esta disparidad a la incorporación de materiales semipirolizados en el suelo.

- **Fósforo (P) y Potasio (K)**

Las concentraciones de fósforo en N-01 se incrementó en 10.77 ppm generando un efecto positivo en el suelo quemado debido a bajo estos niveles se mejora el crecimiento y desarrollo de los pinares (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2020), esto coincide con lo obtenido por Capulín et al. (2010), Domínguez (2016), Alva (2019) y Mejía (2023), que evidenciaron que el contenido de fósforo en parcelas afectadas a profundidad de 0 cm a 10 cm aumenta considerablemente. Para Caldwell et al. (2002), este aumento está asociado a la contribución de este elemento proveniente de las cenizas, dado que en su estudio el incendio tuvo una intensidad moderada, las condiciones no fueron propicias para su volatilización. Sin embargo, en el estrato de matorral la concentración de fósforo disminuyó en 10.98 ppm debido a la pérdida de la materia orgánica. Por el contrario Casas (2019), evidenció que el fósforo disponible incrementó en 0.5 ppm, lo que ocasiono un impacto favorable en el suelo quemado debido al aumento en la presencia de cenizas.

El potasio en N-01 y N-02 aumentaron en 236.33 ppm y 247.07 ppm respectivamente en comparación al área no quemada, valores similares a Alva y Manosalva (2019), Casas (2019) y Mejía (2023), quienes encontraron aumento en el contenido de potasio en sus investigaciones. Para Domínguez (2016), se debe a la escasa volatilización y al aporte de las cenizas provenientes del fuego, lo cual provocó la mineralización del potasio y consecuentemente un aumento en sus niveles.

- **Carbono (C)**

El porcentaje de carbono presentó disminución en 0.54% y 1.07% en las muestras N-01 y N-02 con respecto a la no quemada, estos resultados tienen similitud a los

presentados por Carrasco (2022), quien determinó que el carbono orgánico disminuyó de manera considerable, tanto en Pino (*Pinus radiata*) como en Encino (*Quercus xalapensis*) en ambas profundidades muestreadas. Por otra parte Domínguez (2016), concluyó que el porcentaje de carbono experimentó reducción de 1,39% a 1,04%, en área incendiada, a efectos de la erradicación del material orgánico en descomposición del subsuelo, debido a la actividad de microorganismos necrófitos durante la quema, dejando al suelo más vulnerable a la erosión por acción del viento y el agua. Según Mataix-Solera y Guerrero (2014), en el contexto de incendios de alta intensidad, se produce una disminución en el contenido en carbono producto del consumo de los horizontes orgánicos y la materia orgánica en los primeros centímetros de suelo mineral.

• **Catión Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2})**

En lo que respecta al catión de Ca^{+2} se evidenció que en el área afectada N-01 presenta disminución de 0.86 meq/100g, concordando con lo encontrado por Casas (2019), que en el rango de profundidad de 10 cm a 20 cm el Ca^{+2} disminuyó en 3.59 meq/100g. Sin embargo, en el área afectada N-02 aumentó 0.20 meq/100g con respecto al suelo sin quemar, estos resultados congruen con Alva y Manosalva (2019), que evidenciaron que en áreas afectadas por el fuego, se incrementó 10.7 meq/100g los niveles de calcio. Úbeda (2001), indica que la disponibilidad de calcio en el suelo sufre una disminución sustancial en las áreas de menor intensidad del incendio, pero experimenta incrementos áreas de intensidad moderada. Además, se menciona que, en áreas caracterizadas por un alto nivel de intensidad, la variación es aún más significativa.

El magnesio en ambas muestras disminuye su concentración difiriendo así con lo obtenido por Casas (2019), que encontró un aumento en las concentraciones de magnesio en dos profundidades, con incrementos de 0.48 meq/100g en el suelo quemado y 0.01 meq/100g en comparación al suelo no afectado por el fuego. Los cambios se deben a que inmediatamente después del incendio forestal el suelo experimenta una ligera disminución en la cantidad de magnesio y calcio; sin embargo, con el tiempo, se observa un incremento en estas concentraciones que ocurre paralelamente con un aumento en el contenido de fósforo (Urretavizcaya, 2010).

- **Catión Potasio (K^+) y Sodio (Na^{2+})**

El potasio presentó un incremento de 0.24 meq/100g y 0.49 meq/100g en las muestras quemadas N-01 y N-02 respectivamente, acorde con Alva y Manosalva (2019) y Casas (2019), quienes determinaron el incremento en 0.12 meq/100g de potasio a profundidad de 0 cm a 10 cm con respecto al suelo sin afectación por el fuego; de manera similar el catión potasio aumentó en 0.13 meq/100g en la muestra afectada a profundidad de 10 cm a 20 cm. Por otro lado, el sodio se incrementó en 0.02 meq/100g en la muestra N-02 resultados similares a los obtenidos por Alva y Manosalva (2019) y Casas (2019), que encontraron aumento en 0,02 meq/100g en las áreas afectadas por el fuego en comparación con las no afectadas.

- **Suma de cationes, bases y porcentaje de saturación de bases**

La suma de cationes en plantación de Pino presenta una disminución de 3.84 meq/100g y en matorral quemado tiene un incremento de 0.52 meq/100g, acorde a lo expresado por Casas (2019), donde a profundidad de 0 cm a 10 cm la suma de cationes en la muestra afectada experimenta un aumento de 1.65 meq/100g; sin embargo, a profundidad de 10 cm a 20 cm, se constata una reducción en 1.86 meq/100g, la variación de la suma de cationes se atribuye a las fluctuaciones los valores del catión calcio en la superficie afectada por el fuego.

Por otro lado, las bases cambiables en el suelo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), aumentó en muestra N-02 en comparación a la muestra N-03. No obstante, en la muestra N-01, se aprecia una disminución, semejante a Alva y Manosalva (2019), quienes encontraron que en parcelas parcial y completamente afectadas por el fuego, se incrementó en relación a la parcela no afectada. Por el contrario, en la parcela completamente quemada, dicho aumento solo se manifestó en la superficie del suelo, valores que disminuyen con la profundidad del suelo (>10 cm). La saturación de bases en N-01 disminuyó 12 meq/100g, similar a Casas (2019), donde a distintas profundidades la saturación de bases del suelo quemado disminuyó 8.00 meq/100g y 24.00 meq/100g, según Becerra et al. (2004), a medida que aumenta la CIC, la saturación de bases disminuye gradualmente por efectos de la incorporación cationes básicos en el suelo.

• **Textura del suelo**

La composición textural del suelo en las muestras analizadas, no ha experimentado modificaciones sustanciales, ya que se mantiene dentro del rango correspondiente al tipo de suelo denominado Franco Arenoso (Fr. A.), tanto en las parcelas de plantación de pino como en las de matorral. Estos resultados respaldan la noción de que las características texturales del suelo no fueron modificadas por el paso del fuego en concordancia a los resultados obtenidos por Alva y Manosalva (2019). El contenido de arena presentó una disminución en las parcelas quemadas N-01 y N-02 de 6% y 20%, difiriendo de Pascual (2011) y Mejía (2023), que obtuvieron aumentos en el contenido de arena de hasta 5.33%. Esta diferencia esta atribuida al transporte preferencial de las partículas más pequeñas del suelo (arcilla), en lugar de ser causada por el impacto directo del fuego. En cuanto al contenido de limo, en pinar se mantuvo igual, mientras que en matorral se incrementó, por el contrario Mejía (2023), indica que se redujo en un 3.33%. Por otra parte, el porcentaje de arcillas aumentó, acorde con lo encontrado por Carrasco (2022), que en bosque de encino la fracción de arcillas se incrementó con el paso del fuego, en ambas severidades en 6.5%, mientras que la proporción de limos y arenas decreció, situación que ocurrió en ambas profundidades muestreadas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ El nivel de severidad presentado por el incendio forestal es categorizado muy bajo, pues el suelo quemado presentó regeneración abundante evidenciando la presencia de herbáceas y helechos. En las áreas con plantación de *P. radiata* la regeneración con plántulas de esta especie fue notoria. Por lo tanto, el fuego no solo causa efectos adversos, también actúa como un agente que acelera el proceso de regeneración vegetal, específicamente la ignición en las coníferas ayuda a que los conos liberen sus semillas.
- ✓ Las superficies impactadas por el paso del fuego en la provincia de Jaén, tanto en pinares como en matorrales, a suelo superficial son de grado hidrofílico y a 1 cm de profundidad son fuertemente repelentes. Por otro lado, en zona no quemada el suelo se comportó hidrofílico tanto a suelo superficial como a 1 cm de profundidad.
- ✓ Las parcelas que presentan valores más elevados de repelencia al agua se encuentran en plantaciones de *P. radiata*, influenciadas por la densidad de la vegetación. No obstante, es importante destacar que el tipo específico de vegetación no es un factor determinante en la hidrofobicidad, pues en ambos tipos de vegetación se observa que, a suelo superficial el rango es hidrofílico, mientras que a 1 cm de profundidad son fuertemente repelentes.
- ✓ El carácter fuertemente repelente de los suelos quemados está relacionado con la temperatura presentada por el fuego; sin embargo, el impacto del fuego no tiene variación significativa en la propiedad física de textura del suelo, debido a que está dentro del rango de tipo Franco Arenoso (Fr. A.) tanto en las áreas afectadas y las no afectadas por el incendio. En consecuencia, se deduce que el fuego no ha provocado modificaciones en esta característica física del suelo.
- ✓ En las propiedades químicas, los impactos derivados del incendio forestal en plantaciones, han presentado aumentos y disminución en sus valores. Las propiedades que presentaron aumento en sus contenidos son: fósforo y potasio disponible (10.77 ppm y 236.33 ppm respectivamente), arcilla (6 %) y catión K^+ (0.24 meq/100). Por otro lado, las propiedades que disminuyeron en sus contenidos fueron: pH (0.34 unidades), CE (0.02 dS/m), C (0.54%),

M.O (0.92 %), N (0.05 %), Arena (6 %), CIC (4.225 meq/100g), catión Ca^{+2} (0.86 meq/100g), catión Mg^{+} (3.20 meq/100g), catión Na^{+} (0.02 meq/100g), suma de cationes (3.84 meq/100g), suma de bases (3.84 meq/100g) y saturación de bases (12.00 %).

- ✓ Las propiedades químicas en matorral han tenido incrementos en los valores de: pH (0.78 unidades), CE (0.05 dS/m), Potasio disponible (247.07 ppm), fracción de limo y arcilla (10% en ambos), catión Ca^{2+} (0.20 meq/100g), catión K^{+} (0.49 meq/100g), catión Na^{+2} (0.02 meq/100g), suma de cationes (0.52 meq/100g), suma de bases (0.52 meq/100g) y saturación de bases (3.00 %). Por su parte, los descensos en los valores se asocian a la reducción en contenido de: Fósforo (10.98 ppm), C (1.07 %), M.O (1.84 %), N (0.09 %), Arena (20 %), catión Mg^{+} (0.19 meq/100g).
- ✓ Las modificaciones en las características del suelo tras el paso del fuego no fueron igual en los diferentes tipos de vegetación, la plantación de Pino ha presentado mayor disminución en las propiedades con respecto al matorral.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda:

- ✓ A futuras investigaciones que para incendios de tamaño menor a 100 ha, se establezca un punto de muestreo cada 5 ha. Para incendios con extensiones entre 100 ha y 500 ha situar un punto por cada 5 ha a 10 ha. En incendios de mayor magnitud, comprendidos entre 500 ha a 5 000 ha, ubicar puntos de muestreo cada 10 ha a 50 ha, considerando que ciertos puntos podrían ser inaccesibles debido a las condiciones topográficas.
- ✓ A los investigadores se deberá instalar parcelas en mayor proporción en incendios grandes para tener mayor precisión en los resultados anhelados, esto se debe a que la ignición no siempre afecta el terreno de manera uniforme debido a variaciones en factores como la vegetación, humedad y topografía. Además de considerar que la gota no exceda los 0.05 ml y que su desprendimiento se realice desde una distancia igual o menor a 15 mm para prevenir demasía de energía cinética que altere su infiltración.
- ✓ A la universidad, municipios e instituciones involucradas, establecer programas de educación ambiental sobre temas como el impacto del fuego, la

gestión de plantaciones forestales, cambio climático, entre otros.

- ✓ A los diferentes niveles de gobierno desarrollar y establecer planes de gestión y manejo del fuego, donde se definan metodologías para llevar a cabo quemas controladas. Esta medida se considera esencial debido a que en la actualidad la frecuencia de estos incidentes es más recurrentes debiéndose gran medida se debe a factores antrópicos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, D., & Manosalva, H. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón Sangal, Cajamarca. *Universidad Privada Del Norte, Perú*, 90. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva Mendoza Denisse Milagros - Manosalva Caruajulca Héctor Iván.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva%20Mendoza%20Denisse%20Milagros%20-%20Manosalva%20Caruajulca%20Héctor%20Iván.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Alva, P. E. (2019). Efectos en el suelo del incendio del bosque de Pagaibamba. Chota 2016. *Caxamarca*, 18(1–2), 83–91.
- Becerra, M., Rodríguez, R., Martínez, C., & Vichot, B. (2004). Efectos de quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet, en Cuba. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(1), 31–35.
- Bisdorn, E. B. A., Dekker, L. W., & Schoute, J. F. T. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56(1–4), 105–118. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90103-R](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90103-R)
- Bodí, M. B., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. H. (2012). Repelencia al agua en suelos forestales afectados por incendios y en suelos agrícolas bajo distintos manejos y abandono. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(2), 53–74. <https://doi.org/10.18172/cig.1282>
- Caldwell, T. G., Johnson, D. W., Miller, W. W., & Qualls, R. G. (2002). Forest Floor Carbon and Nitrogen Losses Due to Prescription Fire. *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), 262. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.0262>
- Camargo, G. J. C., Dossman, M. Á., Rodríguez, J. A., Galvis, Quintero Arias, L. M., & Hernando, J. (2012). *Cambios en las propiedades del suelo , posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados , Colombia*. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v61n2/v61n2a08.pdf>
- Capulín, G. J., Mohedano, C. L., & Razo, Z. R. (2010). Changes in Soil and Vegetation in a *Pinus* Forest Affected by Fire. *Terra Latinoamericana*, 28 (1)(Chapingo, México), 79–87.
- Carrasco, E. A. P. (2022). *Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo*. <https://doi.org/10.18687/laccei2021.1.1.308>

- Casas, T. M. G. (2019). *Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco – Cajamarca*. 1–88.
- Domínguez, H. (2016). *Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada*. 114.
- Fernández, F. C., Girona-García, A., & Fernández-Alonso José María. (2022). *Guía para la evaluación de campo de la severidad del fuego en el suelo* (Issue January).
- Fire Information for Resource Management System. (2023). *Archive Download*. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>
- Geo Perú (2023). *Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú*. <https://visor.geoperu.gob.pe/>
- Gil, J., Zavala, L., Bellinfante, N., & Jordán, A. (2010). Acidez y capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por incendios. Métodos de determinación e interpretación de resultados. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 01(01), 329–347. <https://www.researchgate.net/publication/230683036%0AAcidez>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Página principal del INEI. <https://www.inei.gob.pe/>
- Jiménez-Pinilla, P., Lozano, E., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Zavala, L. ., Jordan, A., & Morugán-Coronado, A. (2013). Vegetation type and the presence of ash as factors in the evolution of soil water repellency after a forest fire. *FLAMMA*, 4(2), 105–109.
- Jordán, A., Zavala, L. M., González, F. A., Bárcenas-Moreno, G., & Mataix-Solera, J. (2010). Repelencia al agua en suelos afectados por incendios: métodos sencillos de determinación e interpretación. *Actualización En Métodos y Técnicas Para El Estudio de Los Suelos Afectados Por Incendios Forestales*, January.
- La Manna, L., & Barroetaveña, C. (2011). Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *austrocedrus chilensis* afectados por fuego. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 41–55.
- Martínez, S. J., De las Heras, I. J., & Herranz, S. J. M. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. *Al-Basit: Revista de Estudios Albacetenses*, 117.

- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2011). *Efectos de los incendios forestales*. 2011(2009), 71–72.
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2014). *Efectos de los incendios forestales*. 2014(2009), 71–72.
- Mataix, S. J., & Arellano, O. E. (2020). *Estudio del estado del suelo de las zonas afectadas por el incendio forestal de 2011 en el Parque Nacional de las Torres del Paine (Patagonia , Chile)*.
- Mejía, C. B. Y. (2023). *Propiedades fisicoquímicas del suelo y características del estrato arbóreo de una plantación de Pinus patula Schiede ex Schltdl . et Cham post incendio , La Rinconada , Chota*.
- Ministerio del Ambiente (2023a). *Conoce las causas y consecuencias de los incendios forestales en nuestro país*. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/812315-conoce-las-causas-y-consecuencias-de-los-incendios-forestales-en-nuestro-pais>
- Ministerio del Ambiente (2023b). *Servicios CFOI que afectan a los ecosistemas*. Condiciones favorables para la ocurrencia de incendios. <https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geocfoi/minam/downloaddat%0A14%0Aa/index>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2020). *Propiedades Químicas*. *Portal de Suelos de La FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Parsons, A., Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Napper, C., & Clark, J. T. (2022). *Guía de campo para elaborar un mapa de la severidad del incendio en el suelo después de un incendio (Español)*. 243.
- Pascual, G. A. J. (2011). *Fectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio*.
- Pritchett, W. L. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial LIMUSA. México, D. F
- Sangucho, U. K. A., & Vallejo, M. N. F. (2020). *Comparación de la repelencia al agua del suelo de zonas afectadas por incendios forestales, en análisis*

- realizados in situ y en laboratorio. In *Tesis*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18503%0Ahttp://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2018). Página principal del SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2019). Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales. *Gob.Pe*, 60. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/12/Plan-de-prevención-y-reducción-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>
- Silva-Cardoza, A. I., Vega-Nieva, D. J., Serrano, P. M. L., Rivas, J. J. C., Trejo, D. A. R., Peláez, E. J., & Balcázar, O. (2021). *Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México*.
- Ulloa, C., Pazmiño, K., Cárdenas, D., & Arco, C. (2014). Desarrollo de repelencia al agua en suelos afectados por incendios, en una zona del parque metropolitano del distrito Metropolitano de Quito. *LA GRANJA: REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA*.
- Urretavizcaya, M. F. (2010). Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque*, 31(2), 140–149. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002010000200007>
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología*, 8, 41-49.
- Vega, A. J., Fontúrbel, T., Fernández, C., Díaz-Raviña, M., Tarsy Carballas, M., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A., & Benito, E. (2013). *Acciones Urgentes contra la erosión en Áreas Forestales Quemadas: Guía para su planificación en Galicia*.

AGRADECIMIENTO

Agradecer por el financiamiento al proyecto titulado “Mapeo de severidad y priorización de restauración post-incendio en la región Cajamarca”, en el Marco del concurso de Proyectos de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico-PROINTEC 2020, aprobado con Resolución N°020-2021-CO-UNJ.

Agradezco a mi madre, por su apoyo y confianza brindada en mi para el logro de mis objetivos y metas trazadas. A mis hermanos, quienes estaban pendientes en el trayecto de mi vida universitaria para motivarme y ayudarme en afrontar los desafíos que se presentaron durante este proceso.

Muy especialmente a mi asesora de tesis M.sc. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga por su orientación, dedicación, amabilidad, paciencia, apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y motivarme a lograr este grado académico.

Agradezco a la Universidad Nacional de Jaén por brindarme una sólida formación profesional, por los honorables docentes que me adiestraron con sus conocimientos y enseñanzas de quienes he aprendido a fortalecer mis valores.

DEDICATORIA

A Dios por permitir y brindarme la oportunidad de estar aquí, por su guía en mi camino y darme un objetivo de vida.

A toda mi familia por su apoyo incondicional inquebrantable, siendo pilares esenciales en mi vida, con afecto y dedicación les dedicó todo mi empeño, reconociendo su entrega y sacrificio para poder lograr mis metas.

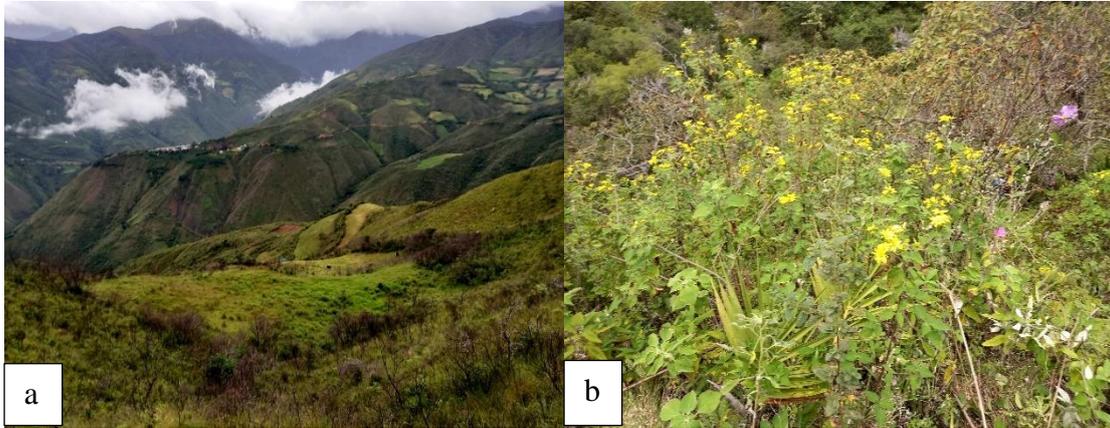
A mis apreciados y respetados docentes de la prestigiosa Universidad Nacional de Jaén, por alentar mis ganas de superación, por compartir sus conocimientos, por su orientación y por su apoyo que fueron un factor clave en lo que aprendí y quiero seguir aprendiendo; a mis amigos, compañeros de aula con los que compartí experiencias para ver concluido la aspiración que inicié una vez.

Gracias a todos los que aportaron y aumentaron el deseo de superación y éxito en mi vida. ¡Muchas Gracias!

ANEXOS

Anexo 1

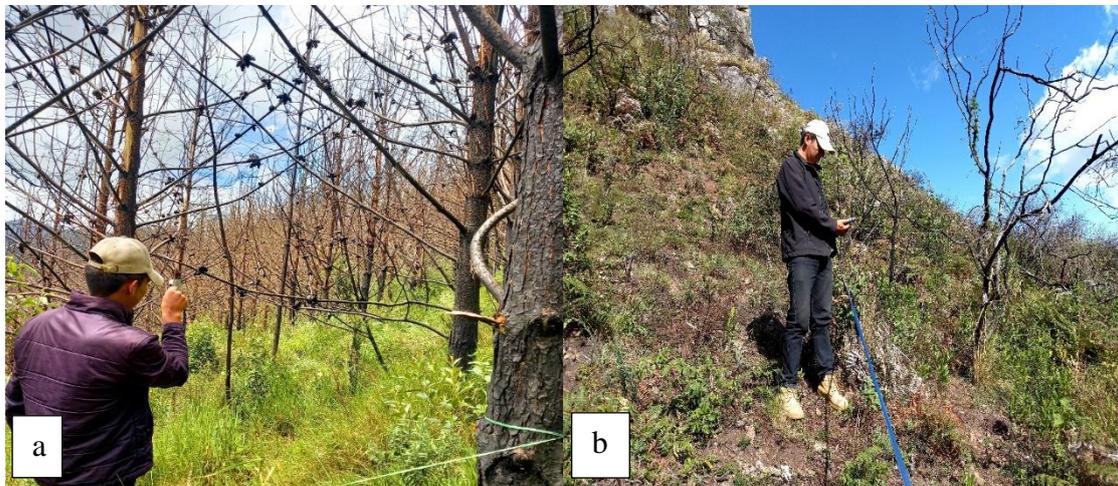
Panorámica del área de estudio – matorral y plantación de pino en San Felipe



(a) Área afectada por el incendio forestal; (b) Áreas de vegetación original en matorral no afectadas por el fuego en el límite del incendio.

Anexo 2

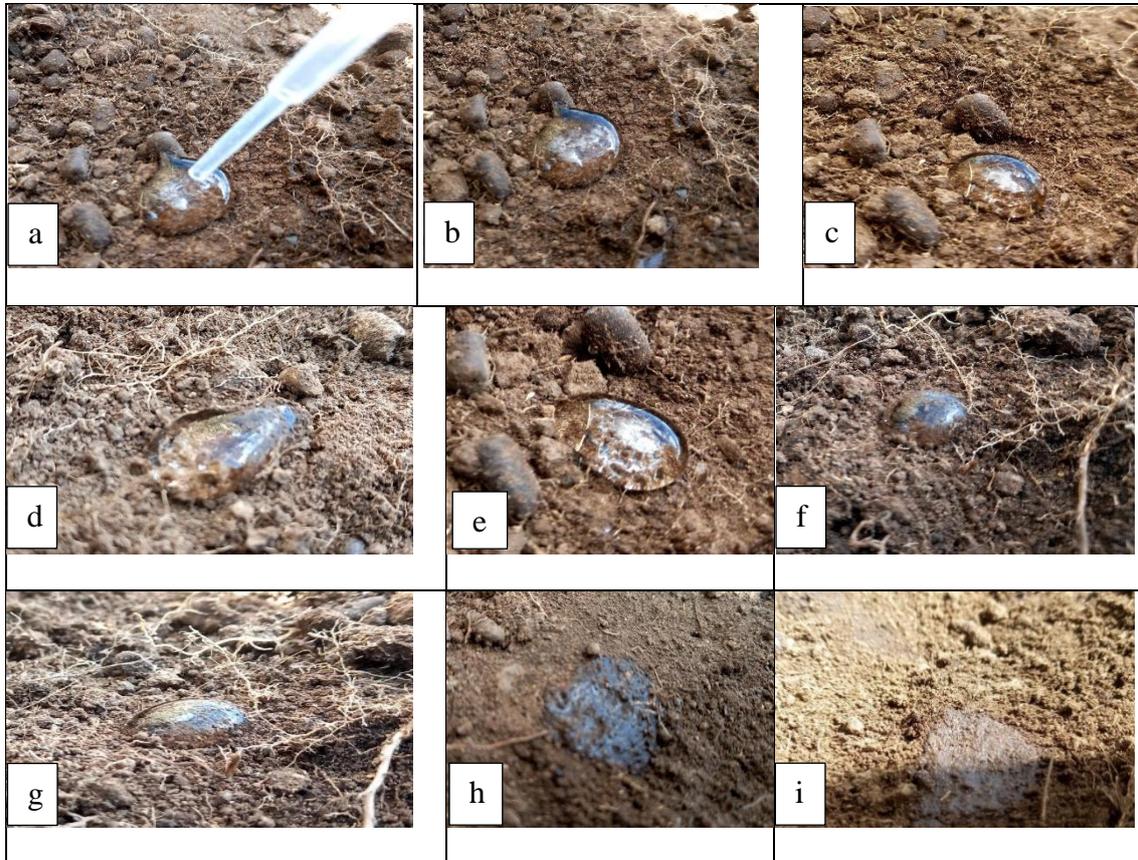
Instalación de parcelas



(a) plantación de pino afectada; (b) matorral afectado por el incendio

Anexo 3

Tiempo en (s) de repelencia al agua a 1 cm profundidad en parcela de matorral incendiada



(a) t=0s; (b) t=25s; (c) t= 228s; (d) t= 360s; (e) t= 780s; (f) t= 888s; (g) t= 980s; (h, i) t=1010s

Anexo 4

Medición de la profundidad para la obtención de muestras de suelo



(a) plantación de pino afectada; (b) matorral afectado por el incendio

Anexo 5

Colocación de las muestras en bolsas previamente etiquetadas



(a) plantación de pino afectada; (b) matorral afectado por el incendio

Anexo 6

Muestras de suelo embolsadas y etiquetadas



Anexo 7

Homogenización de las muestras



Anexo 8

Secado bajo sombra de las muestras antes del envío a laboratorio



Anexo 9

Resultados del análisis de suelo – Muestra 1

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS INFORME DE ENSAYO N° 1894	Código: CCFG - 036	Versión: 01 Página .../...
---	---	------------------------------	-----------------------------------

1. DATOS :
Solicitante : HEINZ GONZALES PEREZ

Departamento : CAJAMARCA
Provincia : JAEN
Distrito : SAN FELIPE

Caserío : EL TABLON
N. Parcela : N-01
Cod. Muestra : 1894
Fecha : 16/12/22

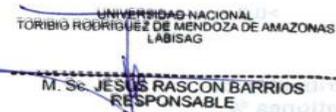
2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN

Lab	Número de Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ppm	K ppm	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺ meq/100g	Na ⁺ meq/100g	Al ⁺³ + H ⁺ meq/100g			
1894	N-01	5,50	0,08	33,18	491,36	3,73	6,44	0,32	70,7	14,0	15,3	Fr.A.	11,20	4,21	2,24	1,00	0,19	0,00	7,64	7,64	68

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Nota: Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.
 Los resultados presentados son válidos únicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG.
 Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABISAG


M. Sc. JESUS RASCON BARRIOS
 RESPONSABLE

 RESPONSABLE DE LABISAG

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABORATORIO DE INVESTIGACION DE SUELOS Y AGUAS LABISAG


Tec. Elder Chichipe Vela
 RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS

 RESPONSABLE DEL AREA DE SUELOS LABISAG

Recibi Conforme:

Nombre: _____

DNI: _____

Fecha y Hora: _____

Firma de Conformidad

Anexo 10

Resultados del análisis de suelo – Muestra 2

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFG - 036	Versión: 01
INFORME DE ENSAYO N° 1895		Página .../...	

1. DATOS :

Solicitante : HEINZ GONZALES PEREZ

Departamento : CAJAMARCA

Provincia : JAEN

Distrito : SAN FELIPE

Caserio : EL TABLON

N. Parcela : N-02

Cod. Muestra : 1895

Fecha : 16/12/22

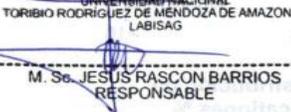
2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN

Lab	Número de Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ppm	K %	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺ meq/100g	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
1895	N-02	6,62	0,15	11,43	502,10	3,20	5,52	0,28	56,7	24,0	19,3	Fr.A.	14,40	5,27	5,25	1,25	0,23	0,00	12,00	12,00	83

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Nota: Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.

Los resultados presentados son válidos únicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABISAG

 M. Sr. JESUS RASCON BARRIOS
 RESPONSABLE

 RESPONSABLE DE LABISAG

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABORATORIO DE INVESTIGACION DE SUELOS Y AGUAS LABISAG

 Tec. Elder Chichipe Vela
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS

 RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS LABISAG

Recibi Conforme: Nombre: DNI: Fecha y Hora: _____ Firma de Conformidad

Anexo 11

Resultados del análisis de suelo– Muestra 3

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFG - 036	Versión: 01
		INFORME DE ENSAYO N° 1896	

1. DATOS :
Solicitante : HEINZ GONZALES PEREZ

Departamento : CAJAMARCA
Provincia : JAEN
Distrito : SAN FELIPE

Caserío : EL TABLON
N. Parcela : N-03
Cod. Muestra : 1896
Fecha : 16/12/22

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO CARACTERIZACIÓN

Lab	Número de Muestra Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ppm	K %	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺ meq/100g	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
1896	N-03	5,84	0,10	22,41	255,03	4,27	7,36	0,37	76,7	14,0	9,3	Fr.A.	14,40	5,07	5,44	0,76	0,21	0,00	11,48	11,48	80

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Nota: Cabe resaltar que la muestra tomada en campo, no fue recolectada por el personal del laboratorio.
 Los resultados presentados son válidos únicamente para la muestra ensayada, queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de LABISAG.
 Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABISAG

M. Sr. JESÚS RASCON BARRIOS
 RESPONSABLE

RESPONSABLE DE LABISAG

UNIVERSIDAD NACIONAL
 TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
 LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y AGUAS LABISAG

Tec. Eider Chichipe Vela
 RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS

RESPONSABLE DEL ÁREA DE SUELOS LABISAG

Recibi Conforme: Nombre: DNI: Fecha y Hora: _____ Firma de Conformidad

Anexo 12

Resultados del análisis de suelo: parcelas quemadas N-01, N-02 y no quemada N-03

Propiedades	N-01	N-02	N-03
Ph	5.50	6.62	5.84
Conductividad eléctrica C.E. (dS/m)	0.08	0.15	0.10
Fósforo (ppm)	33.18	11.43	22.41
Potasio (ppm)	491.36	502.1	255.03
Carbono orgánico (%)	3.73	3.20	4.27
Materia orgánica (%)	6.44	5.52	7.36
Nitrógeno (%)	0.32	0.28	0.37
Arena (%)	70.7	56.7	76.7
Limo (%)	14.0	24.0	14.0
Arcilla (%)	15.3	19.3	9.30
Clase Textural	Fr. A.	Fr. A.	Fr. A.
Capacidad Intercambio Catiónico CIC (meq/100g)	11.20	14.40	14.40
Catión Ca ²⁺ (meq/100g)	4.21	5.27	5.07
Catión Mg ²⁺ (meq/100g)	2.24	5.25	5.44
Catión K ⁺ (meq/100g)	1.00	1.25	0.76
Catión Na ²⁺ (meq/100g)	0.19	0.23	0.21
Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100g)	0.00	0.00	0.00
Suma de cationes	7.64	12.00	11.48
Suma de bases	7.64	12.00	11.48
% sat. de bases	68	83	80

Fuente: *Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.*

Anexo 13

Formato de campo

FORMATO DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD POR EL FUEGO							⁽¹⁾ CVE_INC: INC-SF		⁽²⁾ SITIO ID: 001				
FES.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL SITIO													
⁽³⁾ Responsable:	⁽⁶⁾ Incendio: San Felipe		⁽⁹⁾ Coord X:	689384		⁽¹³⁾ Precisión ^{***} :	+-3		⁽¹⁷⁾ Fecha:	18/11/2022			
⁽⁴⁾ Paraje:	⁽⁷⁾ Municipio: Jaén		⁽¹⁰⁾ Coord Y:	9368425		⁽¹⁴⁾ Exposición (°):			⁽¹⁸⁾ Hr inicio:	hh:mm			
⁽⁵⁾ Predio:	⁽⁸⁾ Estado:		⁽¹¹⁾ Altitud:	2076		⁽¹⁵⁾ Pendiente (%):	28%		⁽¹⁹⁾ Hr término:	hh:mm			
⁽³⁰⁾ Observaciones generales del sitio:			⁽¹²⁾ GPS:			⁽¹⁶⁾ DSM (°):			DTRM(mm)		CGE (%)		
									(20)1:		⁽²⁵⁾ DOS		
									(21)2:		⁽²⁶⁾ MAT:		
									(22)3:		⁽²⁷⁾ HER:		
									(23)4:		⁽²⁸⁾ SUE:		
									(24)5:		⁽²⁹⁾ ROE:		
<p>GPS= Waypoint marcado en el GPS, CVE_INC= Clave del incendio, DSM= Direccion de altura de soflamado maxim (°), DTR= Diametro terminal de la rama mas fina del matorral (mm) CGE = Cobertura global por estrato (%): DOS= Doseal (DAP >7.5), MAT=Matorral (DAP < 7.5 cm), HER= Herbáceas, SUE =Suelo desnudo, ROE=Roca expuesta.</p>													
FES.2. INFORMACIÓN DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE EDAFOLÓGICO													
⁽⁴³⁾ CDR	Cobertura por estrato en cuadrantes (%)						Cobertura por nivel de severidad en el suelo (%)						⁽⁵⁰⁾ Observaciones
	⁽⁴⁷⁾ HER	⁽⁴⁸⁾ FER	⁽⁴⁹⁾ HOJ	⁽⁵⁰⁾ SUE	⁽⁵¹⁾ ROE	⁽⁵²⁾ CEN	⁽⁵³⁾ 0	⁽⁵⁴⁾ 1	⁽⁵⁵⁾ 2	⁽⁵⁶⁾ 3	⁽⁵⁷⁾ 4	⁽⁵⁸⁾ 5	
C01	70	10	20	0	0	0	0	90%	10%	0	0	0	Se observo herbaceas en gran porcentaje
C02	60	20	10	10	0	0	0	80%	20%	0	0	0	Presencia de suelo desnudo baja
C03	70	30	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	Alto porcentaje de fermento
C04	50	30	20	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	No se observa roca expuesta
C05	60	20	20	0	0	0	0	90%	10%	0	0	0	
C06	70	10	20	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	
C07	50	30	0	20	0	0	0	90%	10%	0	0	0	Presencia de suelo desnudo
C08	60	40	0	0	0	0	0	100%	0	0	0	0	
C09	70	0	10	20	0	0	0	90%	10%	0	0	0	No se observo fermento
FES													
⁽⁶⁰⁾													

Anexo 14

Guía metodológica para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo

Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México



Anexo 2.2.1. Informe de la segunda etapa del Proyecto “Reforzamiento al Sistema Nacional de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada”, con clave B-S-131553, convocatoria CONAFOR-2018-C02.

Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACYT

Autores: Ing. Adrián I. Silva-Cardoza, Dr. Daniel José Vega-Nieva, M.C. Carlos Iván Briones-Herrera, Ing. Juan Carlos Loera Medina, Dr. Pablito Marcelo López Serrano, Dr. José Javier Corral Rivas, Dr. Jaime Briseño Reyes, Ing. Edson Parra Aguirre (FCF-UJED), Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo (UACH), M.c. Enrique Jardel Peláez, M.c. Oscar Balcázar Medina (UdeG).

El presente manual ha sido financiado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Forestal CONAFOR-CONACYT, proyecto CONAFOR-CONACYT-2018-C02-B-S-131553 “Reforzamiento al sistema nacional de predicción de peligro de incendios forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada”. Se agradece al personal de CONAFOR por la retroalimentación para el desarrollo y uso operacional del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (<http://forestales.ujed.mx/incendios2/>)

Para citar este documento:

Silva-Cardoza, AI; Vega-Nieva, DJ; Briones-Herrera, CI; Loera Medina, JC; López-Serrano, PM; Corral-Rivas, JJ; Briseño Reyes, J; Parra Aguirre, E; Rodríguez-Trejo, DA; Jardel-Peláez, E; Balcázar Medina, O. 2021. Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México. Reporte Técnico. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Forestal CONAFOR-CONACYT, proyecto CONAFOR-CONACYT-2018-C02-B-S-131553. pág.62.

Versión 1.1. Noviembre 2021

FES.1. INFORMACIÓN DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE EDAFOLÓGICO

Apartado FES.3. Información de la severidad1 en el componente edafológico.

FES.3. INFORMACIÓN DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE EDAFOLÓGICO															
CDR	Cobertura por estrato en cuadrantes (%)						Cobertura por nivel de severidad en el suelo (%)					Profundidad (cm)			⁽⁵⁴⁾ Observaciones
	⁽³⁸⁾ HER	⁽⁴⁰⁾ FER	⁽⁴¹⁾ HOJ	⁽⁴²⁾ SUE	⁽⁴³⁾ ROE	⁽⁴⁴⁾ CEN	⁽⁴⁵⁾ 0	⁽⁴⁶⁾ 1	⁽⁴⁷⁾ 2	⁽⁴⁸⁾ 3	⁽⁴⁹⁾ 4	⁽⁵⁰⁾ 5	⁽⁵¹⁾ HOJ	⁽⁵²⁾ FER	
C01															
C02															
C03															
C04															
C05															
C06															
C07															
C08															
C09															

CDR = Subsitio cuadrado de 30x30cm, HER= Herbáceas, FER=Fermentación, HOJ= Hojarasca, SUE= Suelo desnudo, ROE= Roca expuesta, CEN= Ceniza, Niveles de severidad 0 = No quemado, 1 = Muy bajo, 2 = Bajo, 3 = Moderado, 4 = Alto, 5 = Extremo.

En este apartado se emplean los subsitios cuadrados de muestreo de 30x30cm, cada uno de estos se disponen cada 5 m sobre el lado derecho de cada transecto, 3 subsitios por transecto, como se muestra en la figura 1.

Cada subsitio se deberá identificar adecuadamente, la primera etiqueta (“C01”) debe comenzar en los primeros 5 m del TR1, C02 a los 10 y el C03 a los 15 m.

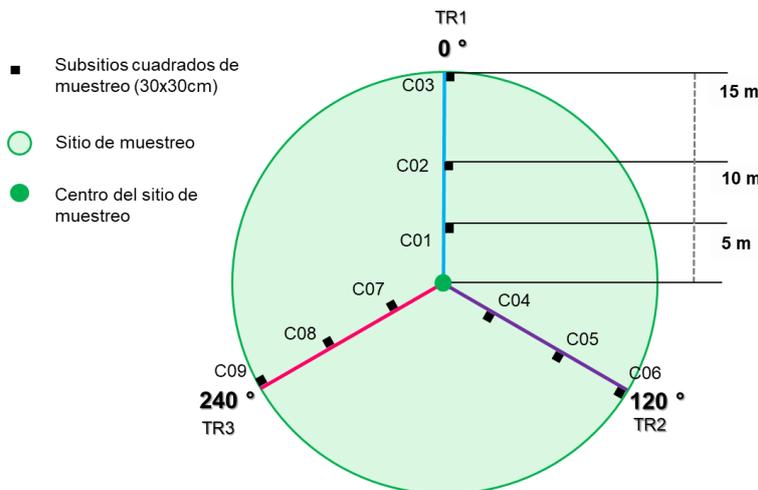


Figura. 1. Disposición de los subsitios cuadrados de muestreo en cada sitio en el componente edafológico (Silva -Cardoza, 2021).

Capa orgánica del suelo

La capa orgánica del suelo se define como la materia principalmente de origen vegetal en distintos grados de descomposición. Esta capa se compone por 2 subcapas: hojarasca, fermentación (puede incluir debajo una capa de humus), encima del suelo mineral, estas se pueden observar en la **Figura 2**.

Figura 2. Definición de las capas orgánicas del suelo para la evaluación de severidad.



Coberturas visuales en subsitios de 30 cm x 30 cm

La cobertura visual debe ser estimada como el porcentaje de la superficie total de los subsitios cuadrados en proyección vertical. Debe tomarse en cuenta únicamente las coberturas que se encuentren dentro de cada subsitio (30x30cm), de manera que la sumatoria de estas sea 100 %. Algunos ejemplos visuales se muestran en la **Figura 3**.

(38) **CDR.** Subsitios cuadrados de 30 cm x 30 cm.

(39) **C.HER.** Cobertura visual de herbáceas (plantas no leñosas) en el subsitio cuadrado de 30x30 cm (CDR).

(40) **C.FER.** Cobertura visual de la capa de fermentación en el CDR.

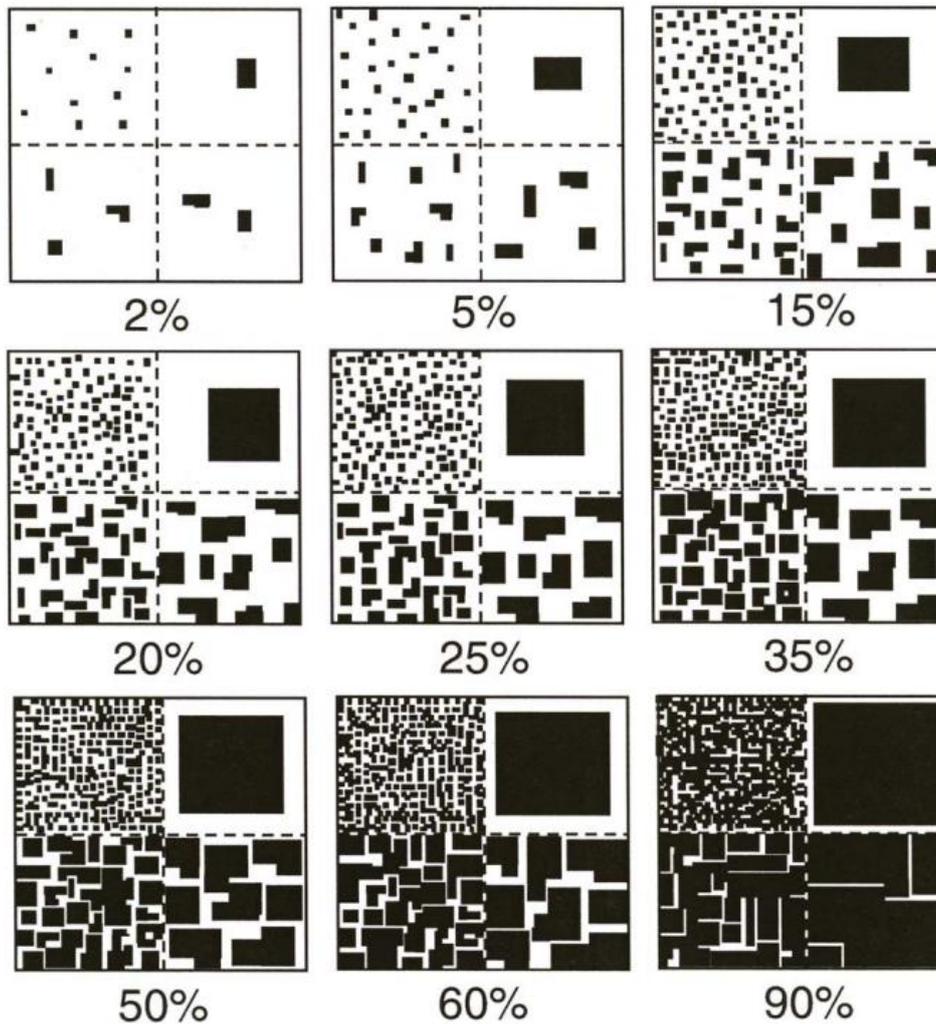
(41) **C.HOJ.** Cobertura visual de la capa de hojarasca en el CDR.

(42) **C.SUE.** Cobertura visual del suelo desnudo en el CDR.

(43) **C.ROE.** Cobertura visual de la roca expuesta en el CDR.

(44) **C.CEN.** Cobertura visual de la ceniza mineral en el CDR.

Figura 4. Estimación de las coberturas en los subsitios cuadrados de 30x30cm. Autor: Toombs (2007)



Cobertura por niveles de severidad en suelo

La cobertura por nivel de severidad en el suelo, se estima de la misma forma que hicimos las coberturas anteriores, la severidad del fuego en el suelo es un indicador de cambio en el grado en que se ha calentado.

Se han determinado cinco niveles, cada uno asociado a un conjunto de alteraciones visuales de la cubierta orgánica y del suelo mineral superficial, grado de carbonización y deposición de la ceniza mineral, afectación de las raíces próximas a la superficie del suelo mineral y grado de repelencia al agua del suelo superficial, observadas en campo inmediatamente después del incendio. La proporción de severidad en el suelo resulta del promedio de la cobertura ponderada de cada uno de estos niveles (1-5), escalado de 1 a 100 para homogeneizar con las unidades de la severidad en la vegetación (%).

Estos niveles de severidad se han descrito considerando diferentes metodologías propuestas para evaluar el cambio causado por el fuego en campo empleadas por Silva-Cardoza (2021).

(45) **0.** Cobertura en % de nivel de severidad (NS) “0”, no quemado.

(46) **1.** Cobertura en % de NS “1”, muy bajo (**Figura**).

(47) **2.** Cobertura en % de NS “2”, baja (**Figura**).

(48) **3.** Cobertura en % de NS “3”, media (**Figura**).

(49) **4.** Cobertura en % de NS “4”, alta (**Figura**).

(50) **5.** Cobertura en % de NS “5”, extrema (**Figura**).

(51) **Observaciones.** Se anotan cuestiones de cada subsitio cuadrado p.e. “hojarasca, herbáceas post-incendio”, “sin cobertura vegetal, SUE”, “ROE soflamada”, “Raicillas expuestas”, “Restos carbonizados de combustibles 1 y 10 hrs”, “SUE mojado”, “Subsitio se movió a la izquierda del transecto por pendiente”.

Es importante conocer la extensión cubierta por los distintos niveles de severidad en cada subsitio ya que fuego no siempre quema de manera homogénea, debido a variaciones en las condiciones de la vegetación, humedad y topografía. Dentro de cada cuadrado, se pueden registrar los porcentajes de cobertura ocupados por cada nivel (1 a 5) de severidad en el suelo.

En la figura 5, se ejemplifica la variabilidad en la severidad del fuego en el suelo en campo. Se aprecian manchas marrones, correspondiendo a zonas no afectadas por el fuego (no quemadas); en la parte izquierda se observa la capa de hojarasca chamuscada (color negro) correspondiente al NS 1- Muy baja. Por otro lado, en la esquina superior izquierda y en la parte inferior del centro podemos observar restos de ceniza grisácea que implica un nivel de severidad media (NS 3). Las partes en las que se observa ceniza blanca, ésta implica un nivel de severidad alta (NS4), habiéndose consumido en mayor grado la materia orgánica del suelo.

Profundidad por capa (cm)

Con la pala y/o navaja se hace un corte a un lado del subsitio cuadrado para hacer la medición identificando cada una de estas capas descritas en la figura 5.

(45) **P.HOJ.** Profundidad de la capa de hojarasca (cm).

(46) **P.FER.** Profundidad de la capa de fermentación (cm).

(47) **P.CEN.** Profundidad de la capa de ceniza mineral (cm).



Figura 6. Ejemplo de distintos niveles de severidad en la unidad de muestreo.



Figura 7. Ejemplos del corte para medir las profundidades de la capa orgánica en el suelo, así

(46) **1.MUY BAJO**

--Hojarasca soflamada, capa de **fermentación intacta.**

- El suelo no presenta cambio de color y conserva su estructura.

-Las raíces superficiales no se han consumido.



Figura 8. Nivel de severidad **MUY BAJO (1)** en el suelo.

(47) 2. BAJO

-La **hojarasca se ha consumido completamente**, pueden quedar restos carbonosos.

-**Capa de fermentación soflamada** o restos calcinados sobre **suelo mineral intacto**.

- El suelo no presenta cambio de color y conserva su estructura.

-Las raíces finas superficiales no se han consumido.

-En ocasiones se pueden observar restos de ceniza mineral.



Figura 9. Nivel de severidad **BAJO (2)** en el suelo.

(48) **3. MEDIO**

-Suelo mineral desnudo, hojarasca y fermentación completamente consumidos.

-Se **conserva la estructura** del suelo en el primer cm (ofrece cierta resistencia por su aglomeración natural, no es polvo suelto).

- Puede presentarse ceniza de **color gris oscuro** (< 0.5 cm de profundidad)

-Las raíces superficiales pueden llegar a estar **ligeramente soflamadas**



Figura 10. Nivel de severidad **MEDIO (3)** en el suelo.

(49) **4. ALTO**

- Suelo mineral desnudo, hojarasca y fermentación completamente consumidos.
- Pérdida de estructura en el suelo (polvo sin cohesión natural del suelo, se penetra con facilidad) en los primeros 0.5 a 1 cm.

- Capa de ceniza mineral (0.5 a 1 cm de espesor), color blanca o gris claro.
- Las raicillas pueden estar consumidas parcial a totalmente.



Figura 11. Nivel de severidad **ALTO (4)** en el suelo.

(50) 5. EXTREMO

- **Suelo mineral desnudo**, hojarasca y fermentación completamente consumidos.

- **Pérdida completa de la estructura**, semejante a un ladrillo, puede haber **polvo suelto** en profundidades superiores al primer cm del suelo mineral.

- Puede presentar cambio de color, predominando el color **naranja a rojizo**.

- Las **raicillas** están fuertemente **calcinadas**.



Figura 12. Nivel de severidad **EXTREMO (5)** en el suelo.

VARIABLES DE CÁLCULO AUTOMÁTICO EN FES.3

(55) **PSU**. Proporción de severidad en el suelo resulta del promedio de la cobertura ponderada de cada uno de estos niveles (1-5), escalado de 1 a 100 para homogeneizar con las unidades de la severidad en la vegetación (%), como se muestra en la **Ecuación (1)**.

$$PSU_i = \frac{\sum_i CNS1_i * 1 + CNS2_i * 2 + CNS3_i * 3 + CNS4_i * 4 + CNS5_i * 5}{100} * 20 \quad (1)$$

Dónde: PSU_j = Porcentaje de severidad en el suelo del j -ésimo subsitio cuadrado de muestreo (%), $CNS1$ = Cobertura del nivel de severidad 1 (muy baja) del j -ésimo subsitio, $CNS2$ = Cobertura del nivel de severidad 2 (baja), $CNS3$ = Cobertura del nivel de severidad 3 (media), $CNS4$ = Cobertura del nivel de severidad 4 (alta), $CNS5$ = Cobertura del nivel de severidad 5 (extrema).

FES.4. NOTAS ADICIONALES DEL SITIO

Figura 13. Apartado FES.4. Notas adicionales del sitio.

FES.4. NOTAS ADICIONALES DEL SITIO:	
(56)	

Este apartado se incluyó en caso de que no sea suficiente los otros apartados de observaciones (**FES.1.** ⁽²⁵⁾ **Observaciones**, **FES.3.** ⁽⁵⁴⁾ **OB2**, **FES.5.** ⁽⁷⁹⁾ **OB4**, **FES.6.** ⁽¹⁰³⁾ **OB5**). Aquí se puede detallar, p.e. las condiciones de estructura del suelo en alguno de los subsitios cuadrados, porcentaje de raicillas expuestas, presencia de capa orgánica en el sitio, entre otras.