

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de la quema de pastizales en las propiedades  
de los suelos en Huamancaca Chico.  
Huancayo. 2020**

Hector Ronaldo Hermitaño Montalvo  
Xiomara Belén Crisóstomo Hilario

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. Andrés Alberto Azabache Leyton

## **AGRADECIMIENTOS**

El más profundo agradecimiento a Dios, quien nos dio la vida y es el principio incondicional para poder lograr esta meta profesional; así también, al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (LASAP) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP) por el apoyo en el análisis de las muestras.

De igual manera, quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Andrés Alberto Azabache Leyton, asesor de la tesis, por su apoyo y confianza en nuestro trabajo, y su capacidad para guiarnos y aclarar nuestras ideas las cuales fueron un aporte invaluable en el desarrollo de nuestra investigación.

También agradecemos a todos nuestros profesores de la Universidad Continental, quienes nos impartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de nuestra formación académica profesional.

Finalmente, agradecemos a nuestros seres queridos por su apoyo y aliento incansable, y a todas las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo de investigación.

## DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, y a mi mamá Yusely por bendecirme y guiarme en cada paso que doy.

A mi mamita y abuelito: Carmen y Francisco, porque ellos son todo para mí; gracias por su apoyo incondicional, agradezco por tanto amor y comprensión; a ellos les dedico cada una de mis metas cumplidas.

*Xiomara Belén Crisóstomo Hilario.*

A Dios, porque sin él nada sería posible, por bendecirme y guiarme en cada momento de mi vida.

A mis amados padres, Marleni y Hugo por impulsarme a dar lo mejor de mí y ser mejor persona cada día. Gracias por su apoyo incondicional.

A mis queridos hermanos por brindarme la fortaleza y ser un ejemplo para ellos. Por perseverar y apoyarme en mi etapa universitaria.

*Hector Ronaldo Hermitaño Montalvo.*

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xvi
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.2. Formulación del problema .....	2
1.1.2.1. Problema general.....	2
1.1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.3.1. Justificación.....	3
1.3.2. Importancia.....	4
1.4. Hipótesis y variables.....	4
1.4.1. Hipótesis general.....	4
1.4.2. Hipótesis nula.....	4
1.4.3. Hipótesis alternativa .....	5
1.4.4. Hipótesis específicas.....	5

1.4.5. Variables .....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes locales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes internacionales.....	9
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. La quema de la vegetación.....	14
2.2.2. Intensidad y severidad del fuego en una quema.....	16
2.2.2.1. Intensidad de fuego.....	16
2.2.2.2. Severidad del fuego .....	18
2.2.2.3. Medida de la profundidad de quema .....	19
2.2.3. Relaciones de los efectos del fuego en el suelo .....	20
2.2.3.1. Combustión.....	20
2.2.3.2. Transferencia de calor .....	21
2.2.3.3. Profundidad y magnitud del calentamiento del suelo.....	22
2.2.3.4. Umbrales de temperatura de las propiedades del suelo.....	22
2.2.4. Efecto de la quema sobre las propiedades del suelo.....	23
2.2.4.1. Sobre las propiedades físicas .....	23
2.2.4.2. Sobre las propiedades químicas .....	26
2.3. Definición de términos básicos .....	32
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	34
3.1.1. Métodos de la investigación.....	34
3.1.2. Tipo de la investigación .....	43
3.1.3. Nivel de la investigación .....	44
3.2. Diseño de la investigación .....	44
3.3. Población y muestra .....	45

3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Muestra .....	45
3.4. Evaluaciones realizadas acerca de las propiedades del suelo.....	46
3.4.1. Propiedades físicas .....	46
3.4.2. Propiedades químicas .....	46
3.5. Técnicas de recolección de datos.....	46
3.6. Técnicas de análisis de datos.....	47
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>48</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	48
4.1.1. Propiedades físicas del suelo .....	48
4.1.2. Propiedades químicas del suelo .....	66
4.2. Discusión de resultados.....	98
4.2.1. Efecto sobre las propiedades físicas del suelo .....	98
4.2.2. Efecto sobre las propiedades químicas del suelo .....	99
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>114</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Excavación en cada punto de muestreo.....	36
Figura 02. Ubicación de los puntos de muestreo en las parcelas antes de la quema.....	37
Figura 03. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 1, antes de la quema.....	38
Figura 04. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 2, antes de la quema.....	39
Figura 05. Ubicación de los puntos de muestreo en las parcelas después de la quema.....	40
Figura 06. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 1, después de la quema.....	41
Figura 07. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 2, después de la quema.....	42
Figura 08. Diagrama de flujo del proceso experimental.....	47
Figura 09. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en la porosidad del suelo (%).....	54
Figura 10. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en la capacidad de campo (%).....	57
Figura 11. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el porcentaje de arcilla (%).....	60
Figura 12. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el porcentaje de limo (%).....	63
Figura 13. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el porcentaje de arena (%).....	66
Figura 14. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el pH.....	68
Figura 15. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en la conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> ).....	71
Figura 16. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de CaCO <sub>3</sub> (%).....	74
Figura 17. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de P disponible (ppm).....	80
Figura 18. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de K disponible (ppm).....	83
Figura 19. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en la CIC (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	86

Figura 20. Efecto de la quema en el contenido de Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).....	89
Figura 21. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de Mg cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).....	92
Figura 22. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de K cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).....	94
Figura 23. Interacción (condición de Quema*Profundidad de suelo) en el contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables.....	06
Tabla 02. Método de análisis.....	43
Tabla 03. Factores y tratamientos en estudio.....	45
Tabla 04. Resultados de la densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	48
Tabla 05. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la densidad aparente del suelo ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ).....	50
Tabla 06. Análisis de varianza de la densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ). Efecto de la quema de pastizales.....	50
Tabla 07. Prueba de comparación múltiple de Tukey para densidad aparente. Efecto de la quema de pastizales.....	51
Tabla 08. Prueba de comparación múltiple de Tukey para densidad aparente. Efecto de la profundidad del suelo.....	54
Tabla 09. Resultados del contenido de porosidad total (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	52
Tabla 10. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la porosidad total del suelo (%).....	53
Tabla 11. Análisis de varianza de la porosidad total (%). Efecto de la quema de pastizales.....	54
Tabla 12. Resultados del contenido de la capacidad de campo (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	55
Tabla 13. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la capacidad de campo del suelo (%).....	56
Tabla 14. Análisis de varianza de la capacidad de campo (%). Efecto de la quema de pastizales.....	57
Tabla 15. Resultados del contenido de arcilla (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	58
Tabla 16. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de arcilla (%).....	59
Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de arcilla (%). Efecto de la quema de pastizales.....	60
Tabla 18. Resultados del contenido de limo (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	61

Tabla 19. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de limo (%)	62
Tabla 20. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de limo (%). Efecto de la quema de pastizales	62
Tabla 21. Resultados del contenido de arena (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades	63
Tabla 22. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de arena (%)	65
Tabla 23. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de arena (%). Efecto de la quema de pastizales	65
Tabla 24. Resultados del pH. Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades	66
Tabla 25. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del pH	68
Tabla 26. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH. Efecto de la quema de pastizales	68
Tabla 27. Resultados de la CE ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades	69
Tabla 28. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la CE ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )	70
Tabla 29. Prueba de Kruskal-Wallis para la CE ( $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales	71
Tabla 30. Resultados del contenido de $\text{CaCO}_3$ (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades	72
Tabla 31. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de $\text{CaCO}_3$ (%)	73
Tabla 32. Análisis de varianza del contenido de $\text{CaCO}_3$ (%). Efecto de la quema de pastizales	74
Tabla 33. Resultados del contenido de MOS (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades	75
Tabla 34. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de MOS (%)	76
Tabla 35. Análisis de varianza del contenido de MOS (%). Efecto de la quema de pastizales	77
Tabla 36. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de MOS (%). Efecto de la quema de pastizales	77
Tabla 37. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de MOS (%). Efecto de la profundidad del suelo	77

Tabla 38. Resultados del contenido de P disponible (ppm). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	78
Tabla 39. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de P disponible (ppm).....	79
Tabla 40. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de P disponible (%). Efecto de la quema de pastizales.....	80
Tabla 41. Resultados del contenido de K disponible (ppm). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	81
Tabla 42. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de K disponible (ppm).....	82
Tabla 43. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de K disponible (%). Efecto de la quema de pastizales.....	82
Tabla 44. Resultados de la CIC (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	83
Tabla 45. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la CIC (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	85
Tabla 46. Prueba de Kruskal-Wallis para la CIC (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema de pastizales.....	85
Tabla 47. Resultados del contenido de Ca cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	86
Tabla 48. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Ca cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	88
Tabla 49. Análisis de varianza del Ca cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema de pastizales.....	88
Tabla 50. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de Ca cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la condición de quema.....	88
Tabla 51. Resultados del contenido de Mg cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	89
Tabla 52. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Mg cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	91
Tabla 53. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de Mg cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema de pastizales.....	91
Tabla 54. Resultados del contenido de K cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	92
Tabla 55. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de K cambiante (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	94

Tabla 56. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de K cambiabile (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema de pastizales.....	94
Tabla 57. Resultados del contenido de Na cambiabile (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.....	95
Tabla 58. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Na cambiabile (cmol.kg <sup>-1</sup> ).....	96
Tabla 59. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de Na cambiabile (cmol.kg <sup>-1</sup> ). Efecto de la quema de pastizales.....	97

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en Huamancaca Chico, provincia de Chupaca y departamento de Junín, donde se planteó como objetivo determinar el efecto de los incendios de pastizales en las propiedades de los suelos en Huamancaca Chico, durante el año 2020. Las quemas de vegetación han sido una tradición ancestral de las comunidades para que sus tierras tengan mayor productividad, al igual que en otros departamentos del país. Para realizar la siembra de cultivos los agricultores queman la vegetación en época de verano con el fin de eliminar las malezas y dejar el lote limpio para poder sembrar las semillas, por otra parte, se tiene la creencia que la quema de vegetación abona o fertiliza los suelos presentándose un mayor desarrollo de los cultivos. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo factorial 2 x 2, con dos repeticiones, obteniéndose antes de la quema 3 muestras de suelo y 5 muestras después de la quema, de cada unidad experimental, a las profundidades de 0 - 3 cm y 3 - 5 cm. Los resultados mostraron que disminuyó significativamente la densidad aparente, el contenido de arcilla y el calcio cambiante, mientras que se incrementó significativamente el contenido de limo, el pH, la materia orgánica, el fósforo (P) disponible, el potasio (K) disponible, el magnesio (Mg) cambiante y el sodio (Na) cambiante. No variaron la porosidad total, la capacidad de campo, el contenido de arena, el contenido de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

**Palabras clave:** incendio de pastizales, propiedades del suelo, quema prescrita.

## ABSTRACT

The present study was carried out in Huamancaca Chico, Chupaca province and Junín department, where the objective was to determine the effect of grassland fires on the properties of the soils in Huamancaca Chico, during the year 2020. The burning of vegetation has been an ancestral tradition of the communities so that their lands have greater productivity, as in other departments of the country. To plant crops, farmers burn the vegetation in the summer in order to eliminate weeds and leave the field clean to be able to sow the seeds, on the other hand, it is believed that the burning of vegetation fertilizes or fertilizes the crops. soils presenting a greater development of crops. An experimental design of complete random blocks was used in a 2 x 2 factorial arrangement, with two repetitions, obtaining 3 soil samples before burning and 5 samples after burning, from each experimental unit, at depths of 0 - 3 cm and 3 - 5 cm. The results showed that the apparent density, the clay content and the exchangeable calcium significantly decreased, while the silt content, the pH, the organic matter, the available phosphorus (P), the available potassium (K), were significantly increased. magnesium (Mg) changeable and sodium (Na) changeable. Total porosity, field capacity, sand content, calcium carbonate content ( $\text{CaCO}_3$ ) and cation exchange capacity (CEC) did not vary.

**Keywords:** grassland fire, soil properties, prescribed burning.



## INTRODUCCIÓN

La acción de realizar incendios de pastizales cada vez es más constante y afecta a los ecosistemas naturales y manejados por el hombre, ya que abarcan grandes territorios, y eliminan toda la biodiversidad de flora y fauna existente en el suelo, dejándolo desprovisto de protección contra agentes erosivos. El clima contribuye a la propagación de un incendio forestal, especialmente en zonas de altas temperaturas y de baja precipitación pluvial; siendo los cambios meteorológicos cada vez fuertes y bastantes rápidos, afectando al medio natural e impactando negativamente sobre las comunidades vegetales, el suelo y el paisaje.

El fuego originado por la quema de vegetación afecta las propiedades del suelo, debido a que la materia orgánica acumulada en la superficie del suelo se consume rápidamente. La disminución de la materia orgánica, a su vez, afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas de la capa superficial del suelo. Algunos elementos presentes en el suelo se volatilizan, como el carbono, nitrógeno y azufre, mientras que otros incrementan su disponibilidad, debido a la mineralización, como el potasio, lo cual contrasta con los procesos de descomposición natural, que ocurren durante muchos años (1).

Los suelos, componentes del ecosistema, junto con los pastos naturales, son afectados por el fuego; el efecto está determinado por su severidad y tiempo de duración. La severidad del fuego refleja la duración y cantidad de energía que es liberada y que altera los componentes de un ecosistema, mientras que la severidad de la quema refleja el impacto del fuego sobre los suelos debido al incremento de la temperatura (2).

El fuego puede cambiar la composición de las especies de plantas, así como la estructura de la cubierta vegetal, ya sea pastos o bosque, y conforme destruye la biomasa, altera las principales propiedades del suelo, haciéndolo susceptible a la escorrentía y erosión (3). De igual manera, el fuego juega un papel importante en la regulación de la productividad y diversidad del ecosistema, pues favorece la mineralización de nutrientes almacenados en la materia orgánica (4).

Así también, el fuego afecta a las propiedades mineralógicas del suelo y si bien los efectos del fuego son breves, a la vez son intensos, como resultado de las elevaciones de la temperatura mientras dure el suceso. Las condiciones del clima, cubierta vegetal y topografía del área quemada controlan la resiliencia del sistema suelo, aunque en algunos casos los cambios provocados por el fuego pueden ser permanentes (5).

Por otra parte, la combustión de la materia orgánica en presencia del fuego, y la subsecuente liberación de cationes solubles, tiende a incrementar el pH ligeramente debido a que los cationes básicos liberados durante la combustión son depositados sobre la superficie del suelo, sin embargo, el cambio de pH es usualmente temporal, dependiendo del pH original del suelo, la cantidad de cenizas, la composición química de las cenizas y el clima (6).

Se observa que el incremento de la disponibilidad de nutrientes después del fuego resulta de la adición de ceniza, lixiviados del piso de vegetación y los procesos de oxidación de la materia orgánica. La combustión instantánea de la materia orgánica cambia directamente la disponibilidad de todos los nutrientes que están almacenados y se hacen lentamente disponibles durante la descomposición de la materia orgánica a nivel superficial; aquel grupo de nutrientes evidencian su disponibilidad en una forma inorgánica presente en la capa de cenizas después del fuego; así también, la disponibilidad de nutrientes de corto y largo plazo es afectada por el fuego (7).

Todo lo expuesto evidencia la alteración que produce el fuego en la capa superficial de suelo, incidiendo en sus propiedades, lo que hace necesario evidenciar los cambios fisicoquímicos del suelo con cubierta de pastos naturales.

Los autores.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

La alteración de los ecosistemas se constituye como un importante agente de variación en la composición de la comunidad. La variación de las características de los agentes que alteran ecosistemas, como su frecuencia, tamaño e intensidad, afectan severamente las propiedades y procesos de dicho medio (8).

En dicha perspectiva, como componente del sistema terrestre, el fuego ha influenciado la composición de gases atmosféricos, el clima, la biota, las geoformaciones, transporte de materiales y tasas de sedimentación (9).

La presencia de fuego es un proceso común en muchos ecosistemas, constituyendo un componente ecológico natural y vital, aunque a gran escala, alta intensidad y severidad, como se da en los incendios forestales, puede ser altamente destructivo. El fuego es uno de los principales conductores de la estructura y función de los ecosistemas, debido a su efecto penetrante sobre el ciclo de nutrientes, composición y estructura de la vegetación, y distribución de herbívoros (10), de modo que debería enfatizarse que algunos ecosistemas son dependientes del fuego, consecuentemente, aún requieren el fuego para asegurar su desarrollo.

Al mismo tiempo, el fuego puede ser usado como una herramienta para el manejo del paisaje (11). Éste puede conducir a importantes cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos, incluyendo: incremento de la densidad de volumen y alteración de la estructura (12), incrementa la cantidad de cationes del suelo (13), y disminuye la cantidad de carbono y nitrógeno en la superficie de los suelos (14).

En dicha perspectiva, nuestro país no es ajeno a la ocurrencia de incendios, por ejemplo, en agosto del año 2020 se registró un incendio forestal en el límite de los distritos de Ccatcca y Ocongate, en la provincia cusqueña de Quispicanchi, dejando personas fallecidas y heridos, arrasando más de 100 hectáreas de pastos naturales, eucaliptos y pinos. Las comunidades de Andayaje y Llachi (Ccatcca) y Laguna Laguna (Ocongate), fueron las más afectadas (15).

La combustión de los residuos vegetales causa la pérdida de ciertos elementos por volatilización, mientras otros son transformados en óxidos, lo cual incrementa la disponibilidad de elementos alcalinos en el suelo (16). La cantidad de materia orgánica de la capa superficial de suelo disminuye en más del 50 % (17) y como resultado final, residual, se tiene la gran cantidad de cenizas que se generan, en tanto el pH se modifica durante la combustión y se reduce la formación de ácidos orgánicos (18).

Por lo expuesto, y considerando que en el valle del Mantaro las quemadas de pastos naturales y residuos de cosecha son una práctica común de los productores agrarios, se plantea evaluar el efecto de la quema de pastizales en las propiedades del suelo.

## 1.1.2. Formulación del problema

### 1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la quema de pastizales en las propiedades de los suelos en Huamancaca Chico, Huancayo, 2020?

#### 1.1.2.2. Problemas específicos

- ) ¿Cuál es el efecto de la quema de pastizales en las propiedades físicas de los suelos: densidad aparente, distribución de tamaño de partículas, capacidad de campo y porosidad, en Huamancaca Chico?
- ) ¿Cuál es el efecto de la quema de pastizales en las propiedades químicas de los suelos: pH, carbono orgánico, contenido de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, cationes cambiabiles, en Huamancaca Chico?

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la quema de pastizales en las propiedades del suelo, en Huamancaca Chico, Huancayo, 2020.

#### 1.2.2. Objetivos específicos

- ) Determinar el efecto de la quema de pastizales en las propiedades físicas de los suelos: densidad aparente, distribución de tamaño de partículas, capacidad de campo y porosidad, en Huamancaca Chico.
- ) Determinar el efecto de la quema de pastizales en las propiedades químicas de los suelos: pH, carbono orgánico, contenido de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, y cationes cambiabiles, en Huamancaca Chico.

### 1.3. Justificación e importancia

#### 1.3.1. Justificación

La persistencia de los incendios de pastizales, que progresivamente están destruyendo ecosistemas en la sierra del Perú, constituye un serio problema ambiental derivado no solo de la pérdida de masa forestal sino también de los procesos de degradación que induce en el suelo.

Habiendo el fuego mostrado un efecto sobre las propiedades del suelo (19), se debe estudiar en qué medida la quema de pastizales naturales afecta las propiedades físicas y químicas del suelo, para darnos la oportunidad de ver si el fuego prescrito puede ser una buena opción para el manejo de la vegetación, pero, principalmente, que propiedades son alteradas en condiciones locales (20) del valle del Mantaro.

#### 1.3.2. Importancia

La alteración de las propiedades del suelo ya sea aumentando el contenido de nutrientes (propiedad química), variando el pH, entre otros efectos sobre la capa superficial del suelo, generará información para el manejo de los suelos con quema de pastos; su generación de cubierta vegetal y protección sobre la erosión.

La información por obtenerse servirá de base para incrementar los datos de carácter académico sobre las prácticas del uso y conservación del suelo, en nuestras condiciones y atenuar su degradación o mal manejo.

#### 1.4. Hipótesis y variables

##### 1.4.1. Hipótesis general

H<sub>1</sub>: La quema de pastizales modificará en forma significativa las propiedades de los suelos de Huamancaca Chico.

##### 1.4.2. Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: La quema de pastizales no afectará las propiedades de los suelos de Huamancaca Chico.

#### 1.4.3. Hipótesis alternativa

H<sub>a</sub>: La quema de pastizales afectará las propiedades de los suelos de Huamancaca Chico.

#### 1.4.4. Hipótesis específicas

- ) La quema de pastizales incrementará la densidad aparente, disminuirá el porcentaje de arcilla, capacidad de campo, y porosidad del suelo.
- ) La quema de pastizales incrementará el contenido de nutrientes, cationes cambiabiles, disminuirá el carbono orgánico y alterará el pH del suelo de Huamancaca Chico.

#### 1.4.5. Variables

) Independiente:

X = quema de pastizales.

Indicador:

- Parcela de pastizales quemada.

) Dependiente:

Y = propiedades físicas y químicas de los suelos de Huamancaca Chico.

Indicadores:

- Propiedades físicas: % de arena, % de limo, % de arcilla, densidad aparente, capacidad de campo, porosidad total.
- Propiedades químicas: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC en adelante), contenido de carbono orgánico, Conductividad Eléctrica (CE en adelante), contenido de fósforo (P), contenido de potasio (K), contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), calcio cambiabile, potasio cambiabile, sodio cambiabile.

Tabla 01. Operacionalización de las variables.

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador
Independiente	Práctica extendida en los trópicos, usada como herramienta de manejo agrícola para la eliminación de cobertura vegetal, control de plagas y malezas, remoción de material seco y adición de nutrientes al suelo (21).	Suelo con quema de vegetación de pastos	Z Parcela con suelo que ha experimentado quema.
X = quema de pastizales			Z Parcela con suelo que no ha experimentado quema.
Dependiente	Componentes de la fase sólida y líquida del suelo en permanente interacción: materia orgánica, pH, fósforo disponible, potasio disponible, textura, conductividad eléctrica (CE), cationes cambiables, relaciones catiónicas (22).	Físicas	Arena (%).
			Limo (%).
			Arcilla (%).
			Capacidad de campo (%).
			Porosidad total (%).
		Químicas	Densidad aparente (Mg.m <sup>-3</sup> ).
			pH (unidad de pH).
			Conductividad Eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> ).
			Materia orgánica (%).
			Carbonato de calcio (%).
			P disponible (ppm).
			K disponible (ppm).
			CIC (meq.100 g <sup>-1</sup> ).
			Ca <sup>+2</sup> (meq.100 g <sup>-1</sup> ).
			Mg <sup>+2</sup> (meq.100 g <sup>-1</sup> ).
K <sup>+2</sup> (meq.100 g <sup>-1</sup> ).			
Na <sup>+</sup> (meq.100 g <sup>-1</sup> ).			

Fuente: elaboración propia.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes locales

En la tesis titulada: “Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo. Huancayo. 2016”, se tuvo por objetivo determinar las características físicas y químicas de los suelos afectados por quema intencional, muestreando a dos profundidades: 0 - 5 cm y 5 - 10 cm, en tres puntos al azar en el suelo con quema y dos puntos al azar en el suelo donde no hubo quema. Los resultados mostraron que las separatas de arena y arcilla no presentaron diferencias significativas para quema, profundidad e interacción quema por profundidad. Si se observó diferencias significativas en el contenido de limo, mostrando efecto de la quema en la disminución del tamaño de partícula. La densidad aparente fue mayor en el suelo quemado que en el suelo sin quema. Las propiedades químicas (pH, CE, materia orgánica, fósforo, potasio, CIC, saturación de bases y acidez intercambiable) no tuvieron diferencias significativas entre el suelo con quema de vegetación respecto al suelo sin quema, observándose ligeras variaciones (23).

En la tesis titulada: “Efecto de la quema de purmas sobre la calidad del suelo en el distrito de Pichanaki, Chanchamayo”, se extrajeron 36 muestras de suelo de 1 kg a profundidades de 5, 30 y 60 cm antes y después de la

quema. Se comparó las medias entre los grupos evaluados. La textura predominantemente fue franco arenoso antes y después de la quema; disminuyó la porosidad total y la capacidad de campo, con la profundidad del suelo, el pH se incrementó con la profundidad, la materia orgánica disminuyó a 5 cm de profundidad y los cationes cambiabiles se incrementaron en 5 y 30 cm de profundidad, la respiración microbiana disminuyó a los 5 cm de profundidad y la actividad biológica fue afectada con la disminución de la macrofauna en la capa superficial del suelo (24).

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: “Efecto de un incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. Subsp. *Globulus* en Huaraz”, se tuvo por objetivo evaluar los efectos de un incendio forestal superficial en una plantación de una plantación de eucalipto de 48 meses de establecida y con una densidad de 2 500 árboles/ha. Con una metodología basada en un muestreo sistemático y una intensidad de muestreo del 5 %, después de 15 meses de ocurrencia, se evaluaron los efectos del fuego en la supervivencia, desarrollo y estado sanitario de la población, así como en las propiedades fisicoquímicas del suelo y se compararon dichos resultados con un testigo. El suelo presentó cambios en su textura, se observó un ligero aumento del pH y una notable disminución del porcentaje de materia orgánica. El contenido de fósforo en el suelo mantuvo un ligero aumento, mientras que el potasio se vio notablemente reducido. La CIC fue ligeramente reducida, mientras que los cationes cambiabiles presentaron en general un ligero aumento en su concentración. La suma de cationes suma de bases y porcentaje de saturación de bases no presentaron diferencias respecto al testigo (25).

En la tesis titulada: “Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco-Cajamarca”, se tuvo por objetivo determinar los efectos del incendio forestal en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiabiles, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo. Las variables en estudio fueron el

suelo quemado y sin quemar. La muestra estuvo compuesta por 15 submuestras tomadas al azar en dos profundidades (0 - 10 y 10 - 20 cm). Se observó que la densidad aparente se incrementó en un  $0.125 \text{ Mg.m}^{-3}$  en el suelo quemado y respecto al color y textura el efecto ha sido nulo. En relación con las propiedades químicas del suelo quemado, se incrementaron los valores de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio disponible y CIC; por el contrario, el pH del suelo quemado disminuyó. Estos valores variaron según la profundidad del suelo (26).

En la tesis titulada: “Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca”, se tuvo por objetivo analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca, tres meses después de un incendio forestal en seis condiciones de estudio generadas por la combinación de parcelas sin quemar, parcialmente quemadas y completamente quemadas a las profundidades de 0 - 10 cm y 10 - 20 cm. Se observó un mayor efecto del fuego en los 10 cm superiores del suelo, registrándose una alta significación estadística en la CE, materia orgánica, nitrógeno total, magnesio cambiante, además de una significación estadística en el potasio disponible y CIC, concentraciones que se incrementaron en las parcelas quemadas. Los cambios en las propiedades del suelo fueron causados principalmente por el incremento de la temperatura en el incendio, incorporación de cenizas al suelo por la combustión y condiciones climáticas post fuego (27).

### 2.1.3. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación titulado: “Avances en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales”, se tuvo por objetivo contribuir en el estudio de los efectos provocados por los incendios forestales en algunas propiedades del suelo inmediatamente después, a corto y medio plazo, así como, de la influencia de diversos factores en la evolución temporal de estas propiedades. Se prestó especial atención a la repelencia al agua del suelo y la agregación de este, al ser propiedades físicas relevantes en suelos recientemente quemados. Los resultados

obtenidos de la monitorización en campo de la repelencia al agua del suelo se han comparado con resultados de medidas realizadas en muestras de suelo en condiciones de laboratorio. La repelencia al agua en el suelo sólo incrementa, inmediatamente después del efecto del incendio, bajo la influencia del pino. El efecto inmediato de las temperaturas de calentamiento produce una disminución del contenido de la materia orgánica, por volatilización, y un aumento de la fracción fina de los agregados. A la vez, se observó un incremento en la estabilidad de los agregados remanentes en la fracción gruesa, debido al calentamiento provocado (28).

El artículo científico titulado: "Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo ", tuvo por objetivo analizar los cambios que experimentan algunas de las propiedades del suelo tras una quema controlada de matorral. Se evaluaron las propiedades edáficas en un segmento de pendiente de 2.68 ha del "monte Tuña", municipio de Tineo, afectado por quema controlada de *Erica* y *Ulex* con un rendimiento de 1.5 ha. Las alteraciones en el suelo, inmediatamente después de la quema y a los 7, 30 y 90 días, se produjeron a 0 - 2, 2 - 5 y 5 - 10 cm de profundidad, demostrando la existencia de un incremento temporal de la fertilidad de los suelos quemados (aumento de C, N, K, Ca, Mg y sobre todo de P asimilable). Se identificó que justo después del fuego hubo una disminución de la fracción arcilla y un aumento de la fracción arena y viceversa a los 7, 30 y 90 días de la quema. El aumento de fertilidad tras la quema podría ser aprovechado para el rápido establecimiento de una cubierta vegetal debido al brote de la vegetación quemada (29).

El artículo científico titulado: "Efectos de quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet, en Cuba", tuvo por objetivo evaluar el efecto de quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet. El experimento se desarrolló en la Empresa Forestal Integral "La Palma", provincia Pinar del Río, Cuba. Se establecieron cuatro parcelas de 1 000 m<sup>2</sup>. Una fue el testigo y en las restantes se aplicó quema. Para la obtención de los datos fueron colocados aleatoriamente cinco puntos de muestreo en cada parcela. Una semana antes, una después y al año de aplicadas las

quemadas prescritas, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los resultados mostraron un aumento no significativo de pH,  $P_2O_5$ , Mg y K, al año de efectuadas las quemadas. Así también, disminuyeron no significativamente el  $K_2O$ , la materia orgánica y el calcio. Al año de efectuada la quema aumenta significativamente el contenido de Na, disminuyendo significativamente la acidez hidrolítica y la CIC a las dos profundidades antes y después de la quema. La relación entre los nutrientes del suelo se encuentra dentro de los rangos típicos de estos suelos pobres (30).

El artículo científico titulado: "Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio", tuvo por objetivo determinar el efecto de un incendio sobre la dinámica de algunas propiedades del suelo y el comportamiento de la vegetación en un bosque de *Pinus patula* en el estado de Hidalgo, México, durante 18 meses. El presente trabajo investigó la influencia de un incendio forestal natural, moderado y superficial, sobre la vegetación y el suelo. Se establecieron cinco parcelas de muestreo de 25 m<sup>2</sup>, tres dentro de la zona incendiada y dos fuera de ésta (testigo). Tras el incendio se colectaron muestras compuestas del suelo integradas por cuatro submuestras tomadas aleatoriamente, en profundidades de 0 - 5 y 5 - 30 cm, generando cuatro condiciones que se evaluaron a los 15, 180, 365 y 540 días. En cada muestra se determinaron los siguientes parámetros: pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo y textura. La vegetación se muestreó a los 30, 180 y 540 días después del incendio mediante el método de barrido, empleando guías botánicas de identificación, evidenciando que el pH del suelo se incrementó significativamente por la incorporación de cenizas y bases cambiables respecto al área testigo, mientras que la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total disminuyeron con el incendio, siendo mayor el efecto en la capa superficial (0 - 5 cm); contrariamente, el fósforo incrementó su contenido en dicha capa, debido a que la intensidad del incendio fue moderada. Asimismo, se incrementó la proporción de arena en detrimento de la arcilla (31).

En el trabajo de investigación titulado: "Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su

conservación y regeneración”, se planteó como objetivos: (i) comparar los efectos sobre el suelo de incendios de diferente tipología, y (ii) determinar que parámetros que nos indiquen la tipología del incendio ocurrido y el daño ocasionado para tomar medidas que faciliten un mayor éxito en las repoblaciones y minimicen los riesgos de erosión. Para ello se realizaron experimentos; dicho escenario tuvo tres partes perfectamente diferenciadas: (i) seguimiento del incendio de Alcoy-Cocentaina, (ii) quema controlada y seguimiento en la zona experimental de la Sierra de Aitana, y (iii) análisis de la regeneración en el estudio de Aitana. Se concluyó que las modificaciones físicas, químicas y biológicas que se pueden llegar a producir de manera directa por efecto del fuego sobre los suelos van a depender, esencialmente, del tipo de incendio y de las condiciones bioclimáticas del suelo. Los incendios intensos, en los cuales el fuego penetra directamente en el suelo, son los que afectan más negativamente a las propiedades del mismo. La pérdida de materia orgánica, así como la reorganización de la distribución en el tamaño de agregados, provoca alteraciones en las propiedades físicas del suelo. Tras el paso del fuego la disponibilidad de P aumenta. La dinámica del N en el suelo se ve alterada por el incendio forestal. Por lo general se produce una pérdida de nitrógeno orgánico, aumentando la fracción amoniacal y nitratos (32).

En el trabajo de investigación titulado: “*Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe basin watershed*”, se tuvo por objetivo estudiar los efectos del fuego sobre la pérdida de piso forestal, estado de nutrientes y lixiviación del suelo. La erosión causada por el fuego y post-fuego causó gran pérdida estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) de C, N, P, S, Ca, y Mg del piso forestal. No hubo efecto estadísticamente significativo sobre los suelos minerales aparte de una disminución en el N total en el horizonte superficial (A11), un incremento en pH en el horizonte A11 e incremento en sulfato extractable en agua en los horizontes A11 y A12. La quema causó un incremento consistente pero no significativo en Ca intercambiable en la mayoría de los horizontes, pero efectos no consistentes sobre potasio y magnesio cambiables o concentraciones de P. Antes de la quema, no hubo diferencias significativas en la lixiviación, pero durante el primer año de invierno, después del fuego, las concentraciones en la solución del suelo, de amonio, nitrato, sulfato y P fueron elevadas en el área quemada.

Se concluyó que los principales efectos de corto plazo del fuego fueron sobre la lixiviación mientras que los efectos a largo plazo fueron la pérdida de N del piso forestal y del suelo (33).

En el trabajo de investigación titulado: "*Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: soil physical properties*", se evaluaron los cambios en las propiedades físicas del suelo después de la quema, seleccionando dos lugares experimentales localizados sobre Alfisols. Se colectaron muestras de suelos a profundidades de 0 a 0.05 m y 0.05 a 0.10 m, y larvas antes y después de la quema. Se ensayó la resistencia, conductividad hidráulica saturada e infiltración de suelos, pre y post quema *in situ*. En respuesta a la quema, el volumen de poros se redujo y concomitantemente las tasas de infiltración, adsorción y conductividad hidráulica. Se registró una reducción apreciable pero no significativa en agregados estables en agua para los suelos en ambos lugares. A pesar de la disminución significativa en la materia orgánica, la estabilidad de las galerías de lombrices mejoró después de la quema. La tala y quema no afectó la clase de suelo, pero hubo apreciables cambios en la distribución del tamaño de partícula después de la quema. Los depósitos de cenizas en los espacios porosos probablemente redujeron en 0.8 % y 3 % la capacidad de agua disponible en las profundidades de 0 - 0.05 y 0.05 - 0.10 m de profundidad, respectivamente, en el lugar 1, y en 15.1 % y 6.6 % a las mismas profundidades en el lugar 2, después de la quema. La resistencia del suelo se incrementó después de la quema, pero no significativamente en alguna de las capas de suelo, mientras que se registró un incremento ligero de 0.8 y 4 % en densidad de volumen en las respectivas profundidades, de ambos lugares. Este estudio mostró que la tala y quema pueden tener un impacto inmediato y directo sobre las propiedades físicas de un Alfisol (34).

En el trabajo de investigación titulado: "*Fire effects on soil organic matter content, composition, and nutrients in boreal interior Alaska*", se utilizó una variedad de métodos para evaluar los cambios en materia orgánica, carbono y nutrientes como resultado del fuego. Los suelos quemados tuvieron más bajo nitrógeno que los suelos no quemados. Los suelos superficiales quemados tienden a tener altas concentraciones de elementos no combustibles tales como calcio, potasio, magnesio, y fósforo,

comparado con los suelos no quemados. Las pérdidas de carbono por combustión estuvieron mayormente limitados a los horizontes fibric y musgo muerto en la superficie, que no cambió en los horizontes minerales subyacentes. La quema causó cambios significativos en la estructura de la materia orgánica del suelo, con una relación de 12 % más alta de carbono a materia orgánica combustible en horizontes superficiales quemados comparado a horizontes no quemados. La pirolisis de espectroscopia de masas y cromatografía de gases también mostró una volatilización preferencial de polisacáridos derivados de la materia orgánica y enriquecimiento de compuestos derivados de lípidos y ligninas en suelos superficiales. La química de las capas profundas del suelo en lugares quemados y no quemados fue similar, sugiriendo que el impacto inmediato del fuego estuvo restringido a los horizontes superficiales (35).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. La quema de la vegetación

La persistencia de los incendios forestales incontrolados que progresivamente están destruyendo ecosistemas mediterráneos y atlánticos constituye un serio problema ambiental derivado no solo de la pérdida de masa forestal sino también de los procesos de degradación que induce en el suelo (36).

La intensidad y duración del incendio son dos de los factores que condicionan el impacto del fuego sobre el suelo, aunque también influyen el tipo de suelo y las condiciones climáticas posteriores al incendio. Generalmente se considera que los incendios de baja intensidad pueden aumentar la fertilidad del suelo, mientras que los de media y alta intensidad provocan efectos negativos (37).

Los incendios de vegetación constituyen un modificador potente y rápido del ecosistema donde se producen, afectando tanto a la biomasa vegetal como al suelo subyacente y, a través de estos efectos, también en la hidrología y, cuanto menos transitoriamente, la atmósfera. La ocurrencia



del fuego en la vegetación está indudablemente influenciada por factores climáticos: los climas más cálidos y secos tienden a favorecer los incendios; las tormentas con actividad eléctrica también generan incendios, incluso en regiones húmedas. Por otro lado, los incendios de vegetación también han sido producidos históricamente por el hombre, por accidente o de manera intencional con fines diversos (38).

Actualmente, los incendios de vegetación adquieren importancia particular en el contexto de su uso para desmonte y limpieza, asociados a la expansión de la frontera agropecuaria que ocurre sobre todo en áreas subtropicales y tropicales. Al mismo tiempo, se ha sugerido que los incendios naturales se incrementarán con el calentamiento climático global (39). Esto hecho resulta tanto del aumento de la temperatura en general como por la prolongación de los eventos extremos de períodos secos (40).

Los incendios de vegetación pueden contribuir al cambio climático por la liberación a la atmósfera del carbono contenido en la vegetación y el suelo, y por la interrupción de la formación de nubes que, a su vez, disminuyen las precipitaciones (40). La combinación del incremento de temperatura, extensión de períodos secos y deforestación permite la rápida propagación de incendios, lo que podría a su vez acentuar la frecuencia y magnitud de los eventos de incendio (41).

En las sabanas bajo quemadas, la rápida combustión de la materia orgánica junto con la dispersión de cenizas y la volatilización de los nutrientes de ciclo gaseoso, disminuyen los aportes efectivos de materia orgánica y elementos al suelo. Así, el proceso repetido puede convertir a las sabanas con este manejo, en exportadores de nutrientes, si las salidas no son compensadas por los aportes de la precipitación u otra vía de incorporación como la fijación atmosférica y deposición de material alóctono. Por el contrario, en las sabanas que no son sometidas a quema, la permanencia de los nutrientes en la materia orgánica es mayor, ya que éstos son liberados por procesos más lentos de descomposición que permiten su posterior incorporación al suelo y la biota. En este último caso, las salidas de nutrientes hacia la atmósfera serán menores y el sistema tendrá mayor posibilidad de alcanzar un balance nutricional estable (42).

Los incendios forestales pueden producir varios cambios a corto y largo plazo en el paisaje y en el suelo, considerado como un sistema. La magnitud de éstos cambios provocados por el fuego en los componentes del ecosistema (agua, suelo, vegetación y fauna) depende de las propiedades del incendio (intensidad y severidad del fuego) y ambientales (vegetación, suelos, geomorfología, etc.). Los impactos más importantes en los suelos en el corto plazo son la reducción de la cubierta vegetal (que aumenta el riesgo de erosión del suelo), la deposición de cenizas después de la combustión de la biomasa, la inducción de la mejora de la repelencia al agua y los cambios en la estructura y componentes del suelo. La combustión de la materia orgánica del suelo y de la biomasa también se traduce en la emisión de gases y oros contaminantes a la atmósfera. Del mismo modo, los cambios inducidos por el fuego en los componentes biológicos del suelo (vegetación, animales y microorganismos del suelo) pueden ocurrir rápidamente y producir una respuesta a gran escala. Los efectos a largo plazo de los incendios en los suelos y el agua pueden persistir durante períodos relativamente cortos (horas, días o meses), largos (años o decenas de años), o ser permanente dependiendo de la severidad del fuego y el régimen de incendios. Algunos de estos efectos son una consecuencia de la relación entre el fuego, la hidrología y el ciclo de nutrientes (43).

Las consecuencias ecológicas de los incendios son específicas para cada lugar y están altamente asociadas al modo reproductivo de las especies vegetales dominantes, así como a las condiciones climáticas y herbívoras con posterioridad al evento de fuego (44). Para ayudar a la restauración de los ecosistemas afectados y a la planificación del manejo de fuego en bosques nativos, es necesario avanzar en el conocimiento sobre el efecto de este disturbio sobre los distintos componentes del ecosistema y su resiliencia (45).

## 2.2.2. Intensidad y severidad del fuego en una quema

### 2.2.2.1. Intensidad de fuego

La intensidad del fuego describe el proceso de combustión física de energía liberada de la materia orgánica. Representa la energía liberada durante las diferentes fases del fuego y no simples capturas de las medidas de todos los aspectos relevantes de la energía del fuego. Incluye diferentes medidas como intensidad de la reacción, intensidad de la línea de fuego, temperatura, tiempo de residencia, energía radiante, entre otras. Así, sería lógico considerar el uso del término “intensidad” en el campo de la física, donde es definido como una medida del flujo de energía promedio en el tiempo o, en otras palabras, la energía por unidad de volumen multiplicado por la velocidad a la cual la energía se mueve; el vector resultante tiene las unidades  $Wm^{-2}$  (46).

La intensidad del fuego es usada frecuentemente en ecosistemas forestales, en la medida que se tiene una literatura bien desarrollada mostrando una relación entre la intensidad de la línea de fuego o longitud de la llama y la altura abrazadora de las copas de coníferas y otros impactos biológicos del fuego (46).

Sin embargo, algunos efectos del fuego están más unidos a diferentes métricas de intensidad del fuego. Por ejemplo, para modelar el consumo de biomasa del suelo (entre otras cosas), se requiere entender la latencia de la combustión, que está más relacionado a temperaturas en la superficie del suelo y la duración del calentamiento que a la intensidad de la línea de fuego (47).

Aún con la mortalidad de árboles, la intensidad de la línea de fuego frecuentemente no puede explicar los patrones de mortalidad debido a que esta puede ser más una función de la producción de calor total reflejado en el tiempo de residencia del fuego o una función de la latencia de la combustión en la biomasa después del paso del frente de fuego (48).

También, el desarrollo de capas no mojables en el suelo está relacionado a la duración del fuego en el suelo (49), y la

supervivencia de bancos de semillas o rizomas puede estar cercanamente unida a la duración del calor tanto como a las altas temperaturas del suelo (50).

Aunque la intensidad de la línea de fuego proporciona información concerniente con la contención del fuego, temperatura y duración del calentamiento (tiempo de residencia), puede ser información mucho más crítica para los administradores interesados con las condiciones requeridas de la quema prescrita para retener componentes sensitivos del ecosistema. Además, el futuro de la ciencia del fuego será bastante influenciada por las tecnologías de imágenes remotas y estas no siempre pueden tener la escala para determinar la intensidad de la línea de fuego (51).

#### 2.2.2.2. Severidad del fuego

El término severidad del fuego nació de la necesidad de proporcionar una descripción de como la intensidad del fuego afecta los ecosistemas, particularmente después de los incendios donde la información directa sobre la intensidad del fuego está ausente y los efectos son frecuentemente algo variables dentro y entre diferentes ecosistemas. Algunas definiciones de la severidad del fuego ha sido una declaración bastante general acerca de la amplitud del impacto de los incendios, esto es, el grado de cambio ambiental causado por el fuego (52), y consecuentemente no permiten medidas útiles operacionales.

Estudios mayormente empíricos que han intentado medir la severidad del fuego tienen una base común que se centra en la pérdida o descomposición de la materia orgánica, sobre y debajo de la superficie del suelo. Las medidas sobre la superficie del suelo tales como quema de volumen de corona usado en bosques o diámetro de ramas que permanecen sobre los tallos

terminales usado en bosques y arbustos como indicadores de biomasa (53). Las características del suelo incluyen la pérdida de residuos vegetales superficiales, capas de suelo y características de las cenizas, todas las cuales reflejan el grado de variación del nivel de materia orgánica consumida (54).

Una de las primeras medidas para la severidad del fuego que recogió la esencia de como posteriormente se ha utilizado empíricamente, fue el propuesto por Ryan y Noste (55), los cuales sostuvieron que cualquier métrica para severidad del fuego necesita considerar el impacto inmediato de los picos de calor sobre y debajo de la superficie del suelo, lo cual está directamente relacionado a la intensidad del fuego. Ellos desarrollaron un índice que comprendió una matriz de impacto de vegetación y suelo reflejando el grado de materia orgánica consumida, que en la mayoría de los estudios se ha simplificado a categorías de severidad del fuego. Varios autores hallaron que este índice recoge la señal de intensidad del fuego, y parece ser una función de intensidad de la línea de fuego, tiempo de residencia (duración del calor) y la sequedad de suelo y de las plantas (56).

#### 2.2.2.3. Medida de la profundidad de quema

La relación de intensidad y severidad del fuego permanece mayormente indefinido debido a las dificultades encontradas en relación con la respuesta del recurso al proceso de quemado (57).

Mientras que se han desarrollado relaciones cuantitativas para describir cambios en la conductividad termal del suelo, y cambios en la temperatura del suelo y contenido de agua debajo de la superficie del suelo, estas relaciones no han sido completamente extrapoladas a condiciones de campo (58).

No es siempre posible estimar los efectos del fuego sobre el suelo, la vegetación y el aire cuando estos efectos son juzgados solo por la medida de la intensidad del fuego debido a que otros factores afectan el comportamiento del fuego. La variedad de efectos del fuego sobre el recurso suelo puede esperarse que varíe directamente con la profundidad de la quema conforme esto se refleja en la cantidad de biomasa consumida y el grado de consumo de vegetación (57).

### 2.2.3. Relaciones de los efectos del fuego en el suelo

#### 2.2.3.1. Combustión

La energía generada como calor durante la combustión sobre y debajo de la superficie del suelo, proporciona la fuerza impulsora que causa un amplio rango de cambios en las propiedades del suelo durante un fuego (59).

La combustión es la destrucción fisicoquímica rápida de la materia orgánica que libera grandes cantidades de energía almacenada en los combustibles como calor. Estos combustibles consisten en biomasa viva y muerta, troncos caídos, litter superficial (incluyendo corteza, hojas, tallos, y ramas), humus y algunas veces raíces. Durante el proceso de combustión se libera calor y una mezcla de subproductos gaseosos y particulado. Las llamas son las características más visuales del proceso de combustión (60).

Para que el fuego inicie el proceso de combustión, se consideran los siguientes componentes: (i) debe estar disponible combustible consumible, (ii) debe aplicarse suficiente calor al combustible para alcanzar su temperatura al punto de encendido y (iii) debe estar presente suficiente oxígeno para mantener el proceso de combustión y mantener el suministro de calor necesario para la ignición del combustible no quemado (61).

Una secuencia común se presenta en todos los combustibles antes que la energía contenida en ellos sea liberada y transferida hacia la parte superior, lateralmente, o hacia abajo donde calienta el suelo subyacente y otros componentes del ecosistema. Hay cinco fases físicas durante el curso de un fuego, éstas son: pre-ignición, ignición, llama, humo y resplandor. La pre-ignición es la primera fase cuando el combustible se calienta suficientemente para causar deshidratación y empieza la descomposición termal inicial de los combustibles (pirolisis). Cuando la llama empieza a disminuir se incrementa el humo y la combustión disminuye a la fase de resplandor que finalmente conduce a la extinción del fuego (59).

#### 2.2.3.2. Transferencia de calor

El calor producido durante la combustión sobre el suelo (por ejemplo, vegetación muerta y viva, litter, biomasa) es transferido a la superficie del suelo y hacia abajo a través del suelo por varios procesos de transferencia de calor (radiación, convección, conducción, vaporización, y condensación) (60).

La radiación es la transferencia de calor de un cuerpo a otro, no en contacto con ello, por movimiento ondulatorio electromagnético; aquel escenario incrementa la actividad molecular de la sustancia absorbente y causa el incremento de temperatura (61).

La convección es un proceso por el cual el calor es transferido de un punto a otro por la mezcla de una porción de un fluido con otro fluido (62). La vaporización y la condensación son importantes en el comportamiento del fuego y sirven como una reacción acoplada que facilita la transferencia más rápida del calor a través de los suelos. La vaporización del agua ocurre cuando es calentada a una temperatura a la cual cambia de líquido a gas. La condensación cuando el agua cambia de gas a

líquido con la simultánea liberación de calor. La reacción acoplada de vaporización y condensación proporciona un mecanismo para la transferencia de agua y materiales orgánicos a través del suelo durante el fuego (59).

#### 2.2.3.3. Profundidad y magnitud del calentamiento del suelo

A medida que el calor se transfiere hacia abajo y a través del suelo, aumenta la temperatura. El mayor aumento de temperatura ocurre en la superficie del suelo o cerca de ella. Sin embargo, dentro de distancias cortas hacia abajo en el suelo, la temperatura aumenta y disminuye rápidamente de modo que dentro de 5 a 10 cm de la superficie del suelo las temperaturas están apenas por encima de la temperatura ambiente. Un diagrama del aumento de calor con la profundidad se llama perfil de temperatura y es útil para determinar la cantidad de cambio que ocurre en un suelo durante un incendio como resultado del calentamiento. La magnitud de estos aumentos de temperatura depende de la gravedad del fuego. El tiempo de residencia del fuego (la duración del calentamiento) es una característica particularmente importante de los incendios, que afecta la profundidad y magnitud del calentamiento del suelo (60).

#### 2.2.3.4. Umbrales de temperatura de las propiedades del suelo

Una característica importante al evaluar el efecto del fuego en las propiedades del suelo es la temperatura a la que se volatilizan los nutrientes o cuando se produce un daño irreversible en una propiedad del suelo en particular. Este dato es denominado como temperatura umbral. Se han identificado umbrales de temperatura para numerosas propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos umbrales de temperatura se han clasificado en tres clases generales que consideran: (i) propiedades del suelo relativamente insensibles que no cambian



hasta que las temperaturas superan los 450°C; esta clase incluye arcillas, cationes (calcio, magnesio, potasio) y otros minerales como el manganeso, (ii) propiedades del suelo moderadamente sensibles que cambian a temperaturas entre 100 y 400°C; los materiales que pertenecen a esta clase incluyen azufre, materia orgánica y propiedades del suelo que dependen de la materia orgánica, y (iii) las propiedades sensibles del suelo son aquellas que se modifican a temperaturas inferiores a 100°C; ejemplos de materiales sensibles son microorganismos vivos (por ejemplo, bacterias, hongos, micorrizas), raíces de plantas y semillas. Esta clase también incluye muchos de los procesos de ciclo de nutrientes mediados biológicamente en los suelos (60).

#### 2.2.4. Efecto de la quema sobre las propiedades del suelo

##### 2.2.4.1. Sobre las propiedades físicas

###### ) Textura:

Los componentes de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) tienen umbrales de alta temperatura y generalmente no se ven afectados por el fuego a menos que estén sujetos a altas temperaturas en la superficie del suelo mineral (horizonte A). La fracción de textura más sensible es la arcilla, que comienza a cambiar a temperaturas del suelo de aproximadamente 400°C, cuando la hidratación de la arcilla y la estructura de red de arcilla comienzan a colapsar. A temperaturas de 700 a 800°C, puede ocurrir la destrucción completa de la estructura interna de la arcilla, sin embargo, la arena y el limo son principalmente partículas de cuarzo que tienen un punto de fusión de 1 414°C (63).

Los incendios forestales pueden ocasionar cambios texturales en los suelos, tanto de una manera directa como indirecta. Se han observado en zonas afectadas por el fuego, aumento de partículas gruesas, como arenas y gravas, disminuciones por tanto en los contenidos de partículas finas como arcilla y limo inmediatamente después del fuego. Este efecto, según diversos autores, aún se puede observar transcurridos dos años del incendio y son probablemente debidos a reagrupamientos de las partículas minerales (68). Hay ensayos sometiendo suelos a temperaturas elevadas que indican la misma tendencia (69), sin embargo, otros autores no han encontrado cambios significativos en la textura de suelos sometidos a incendios forestales (70).

Solo bajo un calentamiento extremo los materiales de cuarzo en la superficie del suelo se funden. Cuando ocurre la fusión, la textura del suelo se vuelve más gruesa y erosionable. Como resultado, las temperaturas rara vez son lo suficientemente altas como para alterar las arcillas más allá de un par de centímetros por debajo de la superficie del suelo mineral. El efecto del calentamiento del suelo sobre la estabilidad de las arcillas se ve mitigado aún más por la concentración de arcillas durante el desarrollo del suelo en los horizontes B. Estos horizontes generalmente están lejos del calentamiento en la superficie del suelo y rara vez aumentan por encima de la temperatura ambiente de la superficie, a menos que se calienten con raíces (60).

#### ) Densidad y porosidad:

La densidad aparente es la masa de suelo seco por unidad de volumen aparente (expresada en  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) y está relacionada con la porosidad, que es el volumen de poros en una muestra de suelo (volumen no sólido) dividido por el

volumen total de la muestra. El espacio de los poros en el suelo controla las tasas de agua (solución del suelo) y el movimiento del aire a través del suelo. Los suelos bien agregados contienen un equilibrio de macroporos, que son mayores de 0.02 pulgadas (más de 0.6 mm) de diámetro, y microporos, que tienen menos de 0.02 pulgadas (menos de 0.6 mm) de diámetro (64). Este equilibrio en el tamaño de los poros permite que un suelo transmita tanto agua como aire rápidamente a través de macroporos y retenga agua por capilaridad en microporos. Los macroporos en los horizontes superficiales del suelo son vías especialmente importantes para la infiltración de agua en el suelo y su subsiguiente percolación hacia abajo a través del perfil del suelo.

La agregación del suelo mejora la estructura de éste, crea espacio de macroporos y mejora la aireación y, como resultado, disminuye la densidad aparente. El espacio poroso no solo influye en la infiltración y percolación del agua a través del suelo, sino que la presencia de poros grandes también facilita la transferencia de calor por convección, vaporización y condensación (60).

El fuego y el calentamiento pueden destruir la estructura del suelo, afectando tanto la porosidad total como la distribución del tamaño de los poros en los horizontes superficiales de un suelo (59). Estos cambios en la materia orgánica disminuyen tanto la porosidad total como el tamaño de los poros. La pérdida de macroporos en la superficie del suelo reduce las tasas de infiltración y produce flujo superficial. La alteración de la materia orgánica también puede conducir a una condición del suelo repelente al agua que reduce aún más las tasas de infiltración. El escenario que ocurre durante la destrucción de la estructura del suelo por el fuego es: (i) la estructura del suelo colapsa y aumenta la densidad

del suelo porque la materia orgánica que servía como agente aglutinante ha sido destruida, (ii) el colapso de la estructura del suelo reduce la porosidad del suelo (principalmente macroporos), (iii) la superficie del suelo se compacta aún más por las gotas de lluvia cuando se desplazan las partículas del suelo y la ceniza, y los poros del suelo se sellan parcial o totalmente, y por último, (iv) la superficie impenetrable del suelo reduce las tasas de infiltración en el suelo y produce una rápida escorrentía y erosión de laderas (60).

) Contenido de agua y capacidad de retención:

La quema del suelo disminuye la capacidad de retención de agua en dicho sistema, tanto en el campo como en el punto de marchitez permanente, lo que finalmente reduce la capacidad de retención de agua disponible. El aumento de arena y la disminución del contenido de arcilla después del incendio disminuyen la capacidad de retención de agua disponible del suelo (65).

Emerson (66) enfatiza que el aumento en el contenido de arcilla, aumenta la capacidad de retención de agua, tanto en la capacidad del campo como en el punto de marchitez permanente. La otra razón para la reducción de la capacidad de retención de agua del suelo es la reducción de la materia orgánica total durante la quema del suelo. Esto puede atribuirse al hecho de que la materia orgánica mejora la retención de agua (22) y que la mayor parte de dicha materia orgánica, dentro del suelo, contiene entre el 50 a 90 % de agua (67).

#### 2.2.4.2. Sobre las propiedades químicas

## ) pH:

En cualquier incendio, la acidez del suelo se ve reducida debido al aporte de cationes, fundamentalmente calcio, magnesio, potasio, silicio y fósforo, así como determinados microelementos, óxidos y carbonatos contenidos en la cama de las cenizas (71).

Generalmente la variación del pH del suelo está relacionada a la intensidad del incendio. En los incendios de baja intensidad, donde la combustión de la materia orgánica es muy baja, los cambios en el pH son insignificantes (72). Se ha observado en algunos casos que se puede producir una disminución del pH en algunas décimas (73). Este hecho se atribuye a una disminución del poder amortiguador del suelo como consecuencia de la deshidratación de los coloides (32).

En los casos en que la intensidad del incendio es alta, y se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH del suelo puede llegar a aumentar mucho (4 a 5 unidades), debido fundamentalmente a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla y la formación de óxidos (74).

## ) Conductividad Eléctrica (CE):

La incorporación y el incremento de cenizas minerales produce un aumento de la salinidad del suelo (75), ya que solubiliza iones que previamente estaban inmovilizados (71).

Como no es común alcanzar niveles excesivos de salinidad, podría suponerse que ello mejora la fertilidad mineral del suelo, sin embargo, existen niveles máximos de nutrientes

utilizables de la disolución suelo, por encima de los cuales la absorción de nutrientes puede ser inhibida por problemas antagónicos surgidos de la acumulación de elementos minerales. Es oportuno considerar que el equilibrio iónico en la disolución del suelo puede verse alterado al incrementarse selectivamente la concentración de algunos de ellos, de modo que el aumento de la salinidad, dentro de niveles no fitotóxicos, no puede considerarse por sí mismo como una indicación de aumento de fertilidad, además, estas sales, al encontrarse en la disolución del suelo, pueden ser lavadas fácilmente por el agua de lluvia (76).

#### ) Materia orgánica:

La combustión de gran parte de la materia orgánica repercute negativamente sobre las características edáficas; si bien aumenta la cantidad de nutrientes disponibles, también hay que tener en cuenta que estos elementos serán arrastrados por el agua con mayor facilidad, ya que con la pérdida de materia orgánica disminuye también la capacidad del suelo para almacenar nutrientes. Los flujos de estos son severamente afectados por el fuego, produciéndose un desequilibrio de los ciclos biológicos cuyo restablecimiento puede ser más o menos largo, dependiendo las circunstancias de cada situación. También es importante señalar que no solo la combustión de la materia orgánica produce cambios en ésta. La simple sequedad debida a la pérdida de la humedad del suelo provocada por el incendio causa modificaciones en la materia orgánica, haciéndola más fácilmente mineralizable (77).

El empobrecimiento progresivo de los suelos en materia orgánica tiene consecuencias inmediatas en la degradación de la estructura (78), con el consiguiente aumento de su erosionabilidad, ya que la estructura grumosa, tan favorable

en los horizontes superficiales de los suelos minerales, debe su estabilidad a las uniones establecidas entre los minerales de la arcilla y las sustancias húmicas de algo grado de polimerización, favorecido todo ello por los contrastes climáticos estacionales (79). Al descender el contenido de materia orgánica, se conduce a una pérdida de los complejos arcillo-húmicos, vitales para la resistencia del suelo a la erosión y al transporte (32).

La relación C/N se ve alterada, aumentando a medida que la temperatura alcanzada es más elevada. Los suelos afectados por incendios presentan una menor proporción de materia orgánica libre, ácidos fúlvicos de bajo grado de polimerización, aumentando los ácidos húmicos y la proporción de humina de insolubilización. Sin embargo, estas modificaciones, aparentemente beneficiosas no se pueden mantener a largo plazo y si la frecuencia de incendios aumenta, el suelo puede convertirse en un medio inerte, ya que los restos vegetales carbonizados aportados son muy difíciles de transformar (69).

#### ) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):

Conforme el fuego actúa directamente sobre el suelo, la reducción en los porcentajes de materia orgánica se traduciría, además, se da un descenso de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (80).

Se pudo observar, de modo general, una buena correlación entre la cantidad de materia orgánica y la disminución de la CIC. De esta forma, parte de los cationes liberados no podrán ser retenidos en el complejo adsorbente, siendo más fácilmente lixiviados hacia horizontes profundos en el perfil del suelo o arrastrados sobre la superficie desnuda del suelo por el agua tras las primeras lluvias. El resultado final será,

probablemente, un empobrecimiento del suelo ya que, aunque existan más nutrientes en la disolución, habrá disminuido la capacidad de mantener reservas de iones en el suelo (32).

Las variaciones de la CIC del suelo van a depender de la intensidad del fuego y del tipo de suelo. La alteración de la materia orgánica tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 100 a 250°C, habiéndose observado una reducción del 20 % de la CIC de los suelos en los que esta propiedad está determinada fundamentalmente por el humus (81); los fuegos de intensidad débil parecen tener poco efecto en la CIC. En algunos casos, si la intensidad del fuego ha sido baja, se ha encontrado un aumento de la CIC; este efecto posiblemente está relacionado con la liberación de cargas procedentes de complejos órgano-minerales (82).

#### J) Contenido de fósforo (P):

El contenido de fósforo (P) disponible para las plantas en general aumenta después de los incendios debido a la transformación de P de formas orgánicas a inorgánicas y a la incorporación de cenizas producto de la combustión de la vegetación (83).

El incremento de P en forma asimilable es el responsable de la efímera fertilidad que presentan los suelos después de los incendios. En cuanto al P total los efectos son escasos, aunque existen estudios en los que se han encontrado aumentos en el contenido de P total (84).

#### J) Contenido de potasio (K):

Los iones inorgánicos generalmente se hacen más disponibles en la superficie del suelo como resultado del



fuego. Se ha encontrado que inmediatamente después del fuego, los nutrientes extractables, como en el caso del potasio (K), se incrementaron en la profundidad de 0 a 3 cm. A mayores profundidades (3 a 10 y 10 a 20 cm), solo P y K extractables se incrementaron por la quema. Un año después los niveles de nutrientes permanecieron aún altos que las concentraciones antes de la quema, pero habían disminuido (60).

Se reporta también que los cambios en la composición de la planta y el suelo en un campo con *Pinus banksiana*, cuyo sotobosque había sido quemado hace 10 años, se asociaron al contenido de los elementos P, K, Ca y Mg, los cuales se incrementaron; el P y el K fueron aún mayores que los niveles antes de la quema de hace 10 años (85).

) Cationes cambiabiles:

Aunque el efecto del calentamiento directo del suelo probablemente sea limitado a la superficie (2.5 cm), el efecto de la quema se puede medir a una mayor profundidad debido a la lixiviación de nutrientes altamente móviles de las capas superficiales. Por ejemplo, pérdidas por lixiviación en un suelo con sotobosque de pino quemado aumentó de 2 a 3 veces el contenido de magnesio (Mg) y calcio (Ca) cambiabiles, comparado al suelo no quemado (86).

Si bien K, Na y Mg son iones relativamente solubles y pueden lixivarse a través del suelo, es muy probable que el calcio (Ca) se retenga en los sitios de intercambio. Los niveles de calcio (Ca) pueden mostrar una respuesta en la superficie del suelo después de muchos años después del incendio; sin embargo, algunos cationes se lixivian más fácilmente y como resultado se pierden más fácilmente (87).

Se ha encontrado que en la quema de litter de *Kalmia* spp. en condiciones de invernadero, se incrementó la lixiviación de magnesio (Mg), pero no la de otros cationes. Aunque se liberaron cenizas y cationes del piso forestal durante la quema, no hubo cambios en la concentración de cationes en la superficie del suelo (0 a 5 cm) (88).

### 2.3. Definición de términos básicos

- ) Área quemada: comprende el área sobre el cual el fuego se ha dispersado (60).
- ) Biomasa: es todo el material vegetativo disponible para la quema en ecosistemas naturales (60).
- ) Capacidad de campo: es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad (60).
- ) Combustible: es el término usado para referirse a la biomasa que se descompone como resultado de la ignición y combustión (60).
- ) Combustibles aéreos: comprende al conjunto de combustibles de más de 2 m por encima de la superficie del suelo mineral (60).
- ) Combustión: es un proceso fisicoquímico rápido, comúnmente llamado fuego, que libera energía solar almacenada en forma química en varios combustibles como calor y una variedad de subproductos particulados y gaseosos (60).
- ) Daño: son los efectos desfavorables de cambios causados por el fuego en sistema de recursos (60).
- ) Descomposición: ruptura de la materia orgánica, resultado del catabolismo de la materia orgánica en materiales orgánicos más pequeños (60).
- ) Ecología del incendio: es el estudio de las relaciones entre fuego, ambiente y organismos vivos (60).
- ) Efectos del incendio: son los impactos físicos, químicos y biológicos del fuego en el ambiente y en los recursos del ecosistema (60).
- ) Frecuencia del incendio: también denominado ocurrencia del incendio, es el número de incendios en un tiempo y área especificada (60).
- ) Incendio: es una manifestación de una serie de reacciones químicas que resultan en la rápida liberación de la energía calorífica almacenada en plantas (vivas y muertas) por fotosíntesis (60).

- ) Intensidad del incendio: describe la tasa a la cual el incendio produce energía termal (60).
- ) Macronutrientes: comprende al grupo de nutrientes necesarios en grandes concentraciones para el crecimiento de plantas, tales como los provenientes del suelo: fósforo, nitrógeno, azufre, calcio, potasio y magnesio (60).
- ) Mineralización: es la conversión de un elemento de una forma orgánica a un estado inorgánico como resultado de la actividad microbial (60).
- ) Propiedades físicas del fuego: comprende a las propiedades que afectan la manera en que se da la quema por fuego y, finalmente, la generación de energía y producción de contaminantes del aire por el incendio. Las propiedades físicas de interés a un administrador de incendios generalmente incluyen la cantidad, tamaño y forma, compactación y arreglo (60).
- ) Quema controlada: también llamada quema prescrita, es la aplicación controlada de fuego a las acumulaciones de combustible, en su estado natural o modificado, en condiciones ambientales específicas que permiten que el fuego sea confinado a un área determinada y, al mismo tiempo, para producir una intensidad de línea de fuego y tasa de dispersión requerida para obtener los objetivos de manejo planeado (60).
- ) Régimen de incendio: mayormente determinado por la combinación de tres factores: el fuego que ocurre frecuentemente (frecuencia), cuando ocurre (estación) y con qué ferocidad arde (intensidad) (60).
- ) Severidad del incendio: describe la respuesta del ecosistema al incendio y como puede ser usada para describir los efectos del incendio en el sistema suelo y agua, ecosistema de flora y fauna, la atmósfera y la sociedad. Refleja la cantidad de energía (calor) que es liberado por el incendio que afecta la respuesta del recurso (60).
- ) Severidad alta de incendio: comprende al alto calentamiento del suelo, donde el combustible es completamente consumido y la superficie del suelo mineral es visiblemente rojizo o nacarado en sitios severamente quemados (60).
- ) Severidad alta de la quema: comprende a todos los materiales orgánicos removidos de la superficie del suelo y los materiales orgánicos consumidos debajo de la superficie (60).
- ) Tasa de combustión: es la masa de combustible consumido por el proceso de combustión (ejemplos: t/min, kg/s, etc.) o la velocidad promedio (ha/min) de como el combustible está siendo quemado (60).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

##### 3.1.1. Métodos de la investigación

###### a) Método general o teórico de la investigación:

Se planteó el método general hipotético - deductivo; este método tiene como enfoque principal utilizar la investigación empírica y la investigación teórica, siendo llamado como empírico lo real, acumulativo y elaborativo, así como se plantea un concepto de construcción de hipótesis y teorías a partir del material objeto acumulado (89).

Este método es ampliamente usado en la vida real como en la investigación científica. Consiste en generar hipótesis acerca de las posibles soluciones del planteamiento del problema y en su respectiva comprobación de éstos a partir de los datos, es decir, si llega a existir coincidencias. El planteamiento de las hipótesis se orienta a dos escenarios; cuando la investigación está más próxima al nivel observacional, se formulan hipótesis del tipo empírico llevado a la experiencia, y, el segundo escenario, se da cuando el sistema es más teórico, donde se generan hipótesis del tipo abstracto (90).

Esta investigación presenta ambos escenarios, teniendo como suposición que una investigación no siempre está encasillada en un modelo único, sino debe buscar el mejor escenario para el nivel explicativo que pretenda conducirse. En este ámbito, la presente investigación parte desde un modelo observacional de la problemática de la quema de vegetación de pastizales, que pueden afectar las propiedades del suelo para luego generar conclusiones, profundas, teóricas a través de un procedimiento experimental generando posibles hipótesis.

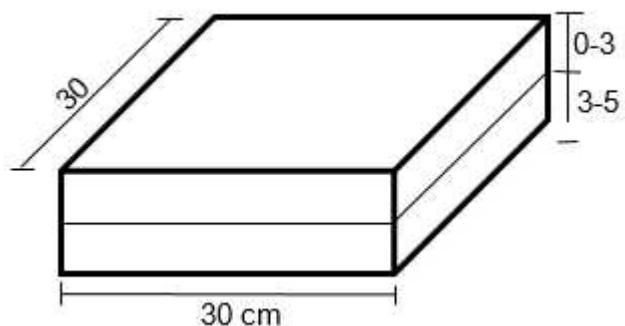
Así también, dicho contexto no representa la finalización de la línea de investigación, ya que este método de investigación tiene como naturaleza, llevar nuevamente a un razonamiento observacional planteando nuevas hipótesis, convirtiéndose así en una siguiente línea de investigación futura.

b) Método específico de la investigación:

Se utilizó el método específico analítico, evidenciado por el análisis de las muestras del suelo obtenidas de las parcelas seleccionadas por tener de parte de sus propietarios la práctica de quema de pastizal con el fin de su renovación y eliminar insectos, plagas o enfermedades; fueron analizadas en los siguientes parámetros fisicoquímicos: densidad aparente, porosidad total, capacidad de campo, distribución del tamaño de partícula (físicos) y pH, Conductividad Eléctrica (CE), materia orgánica, carbonato de calcio, P disponible, K disponible, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y cationes cambiabiles (químicos). Dicho escenario de análisis fue antes y después de la quema. Se utilizaron métodos estándar y una vez reportados los análisis de laboratorio, se calificaron e interpretaron en función de los tratamientos aplicados.

o Plan de muestreo:

De las parcelas antes de la quema, y después de la quema, se obtuvieron muestras en forma aleatoria en cada parcela en una excavación de 30 cm x 30 cm, a dos profundidades, de 0 a 3 cm y de 3 a 5 cm. El esquema de la excavación se presenta en la figura 01.



*Figura 01.* Excavación en cada punto de muestreo.

Fuente: elaboración propia.

Este tipo de muestreo es recomendado para áreas homogéneas menores a 5 ha, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos se eligen al azar y no sigue ninguna lógica (91).

En las siguientes figuras se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en las parcelas (1 y 2) antes de la quema y después de la quema.

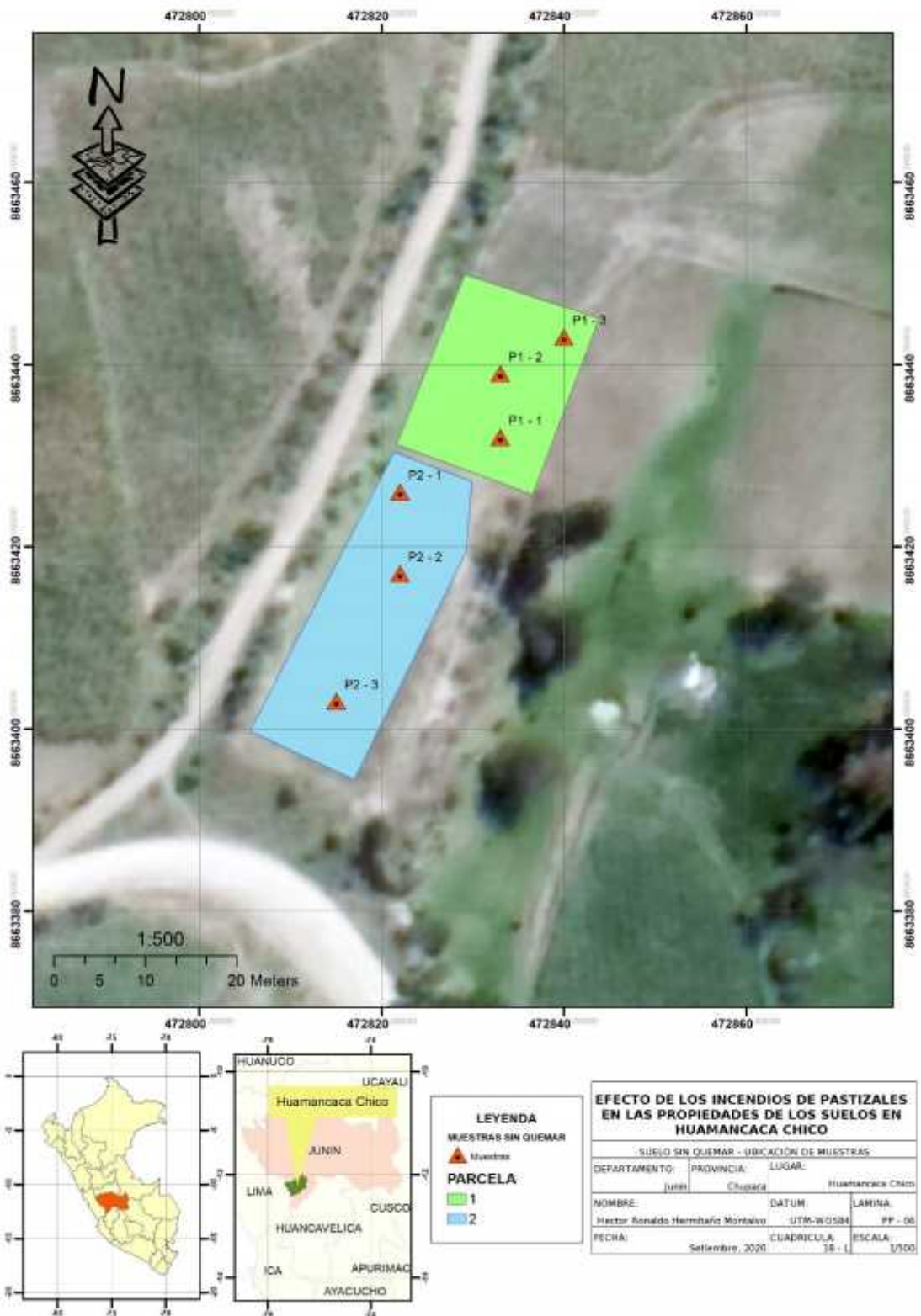


Figura 02. Ubicación de los puntos de muestreo en las parcelas antes de la quema.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

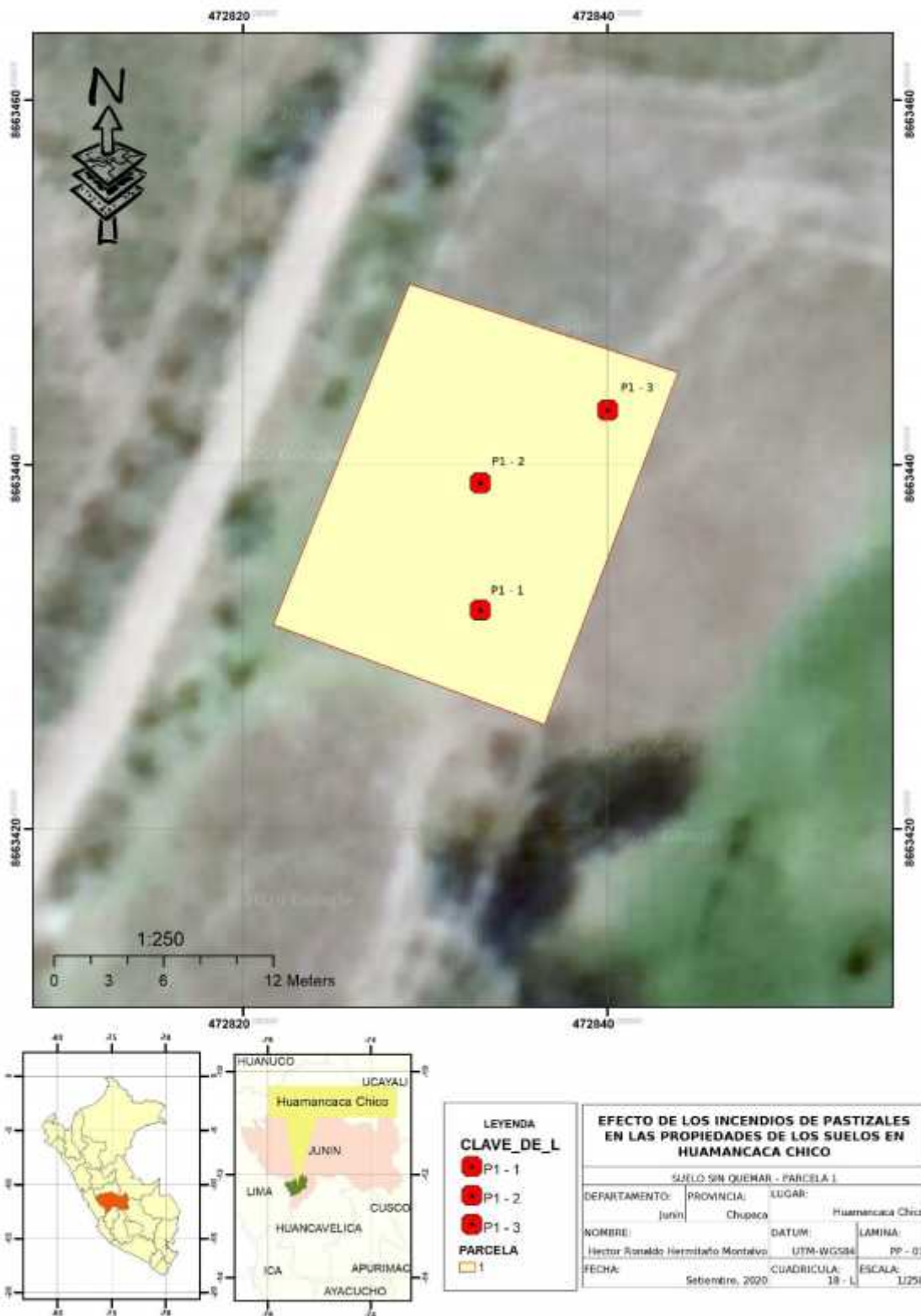


Figura 03. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 1, antes de la quema.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.



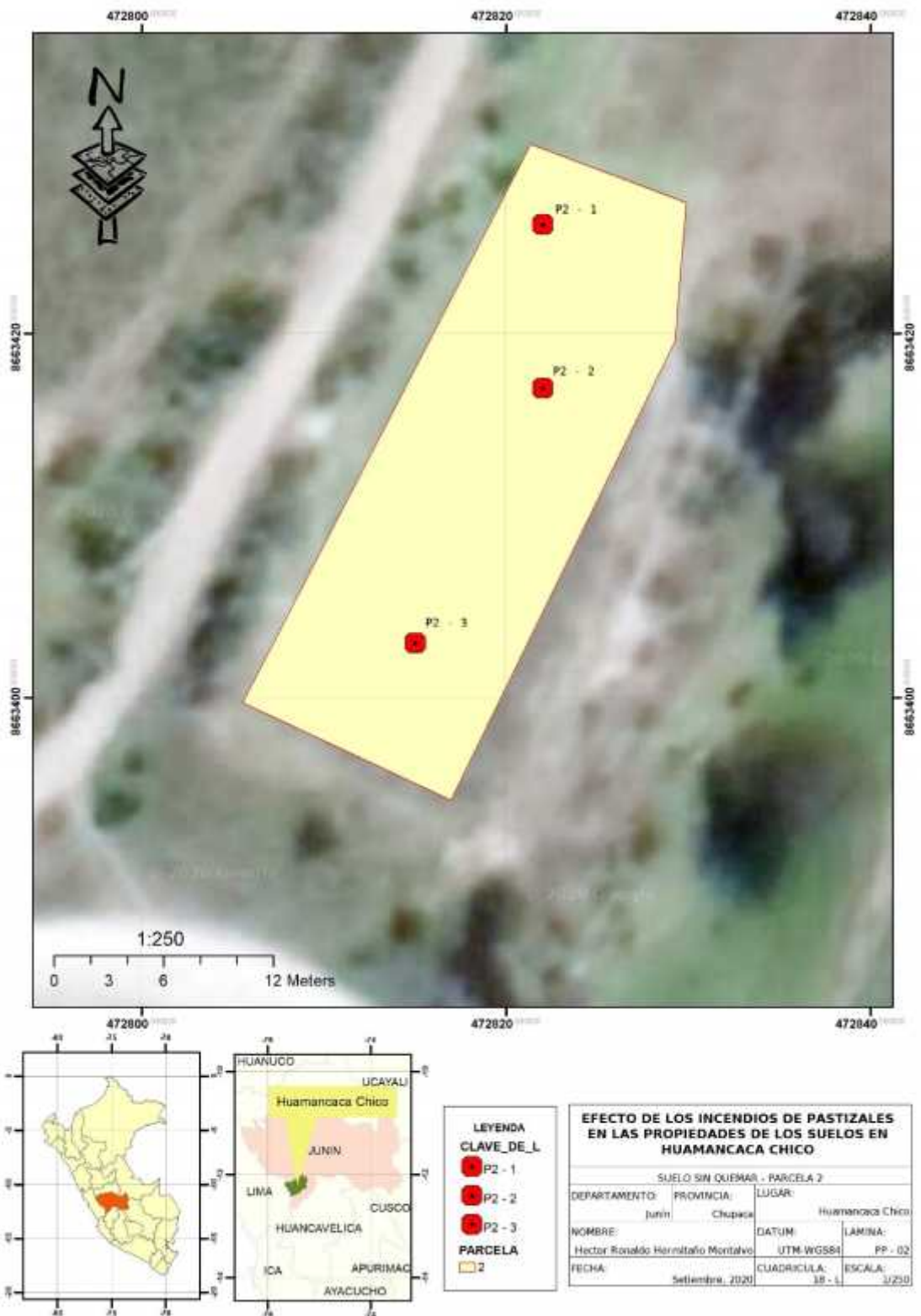


Figura 04. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 2, antes de la quema.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

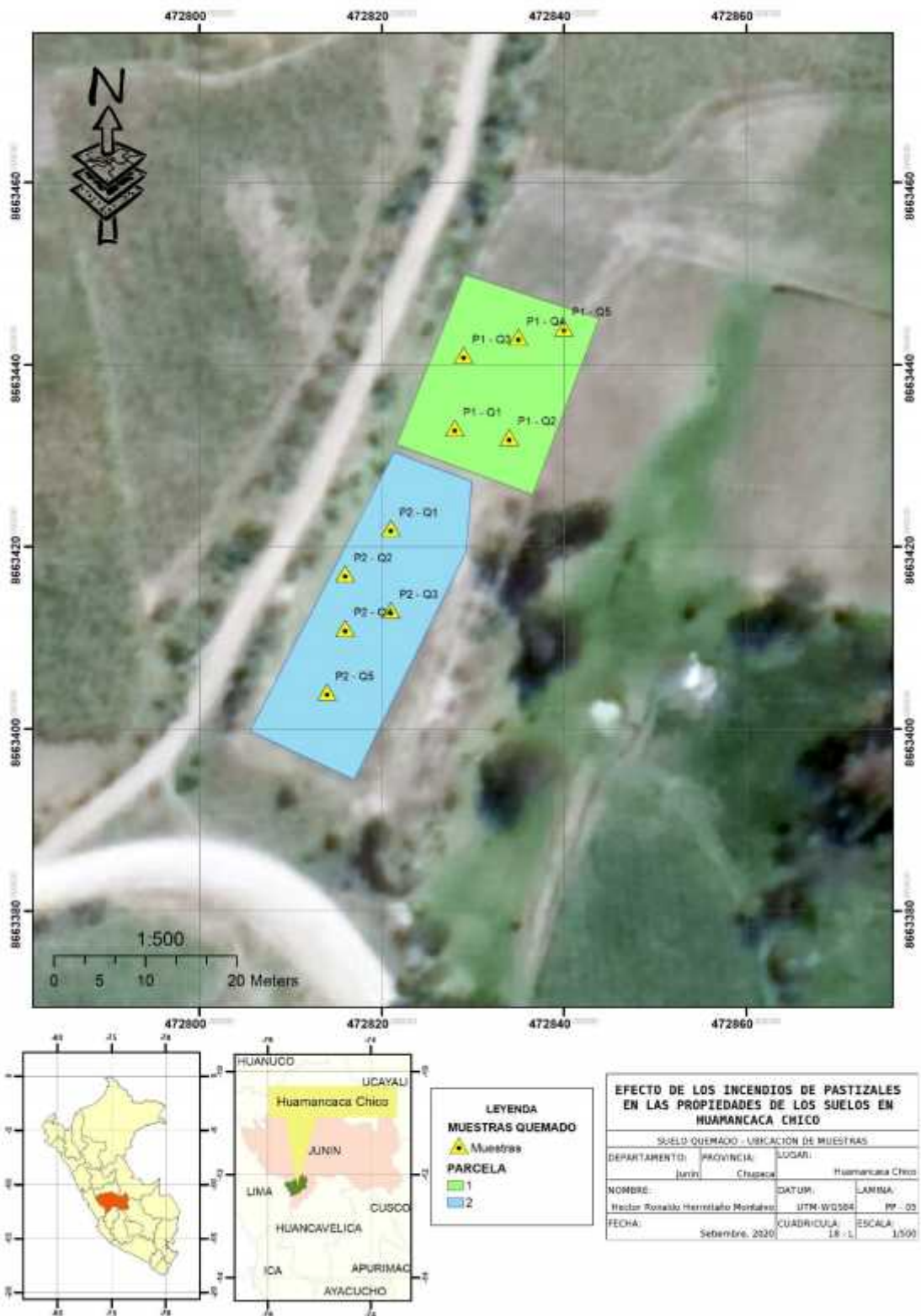


Figura 05. Ubicación de los puntos de muestreo en las parcelas después de la quema.

Fuente: elaboración propia.

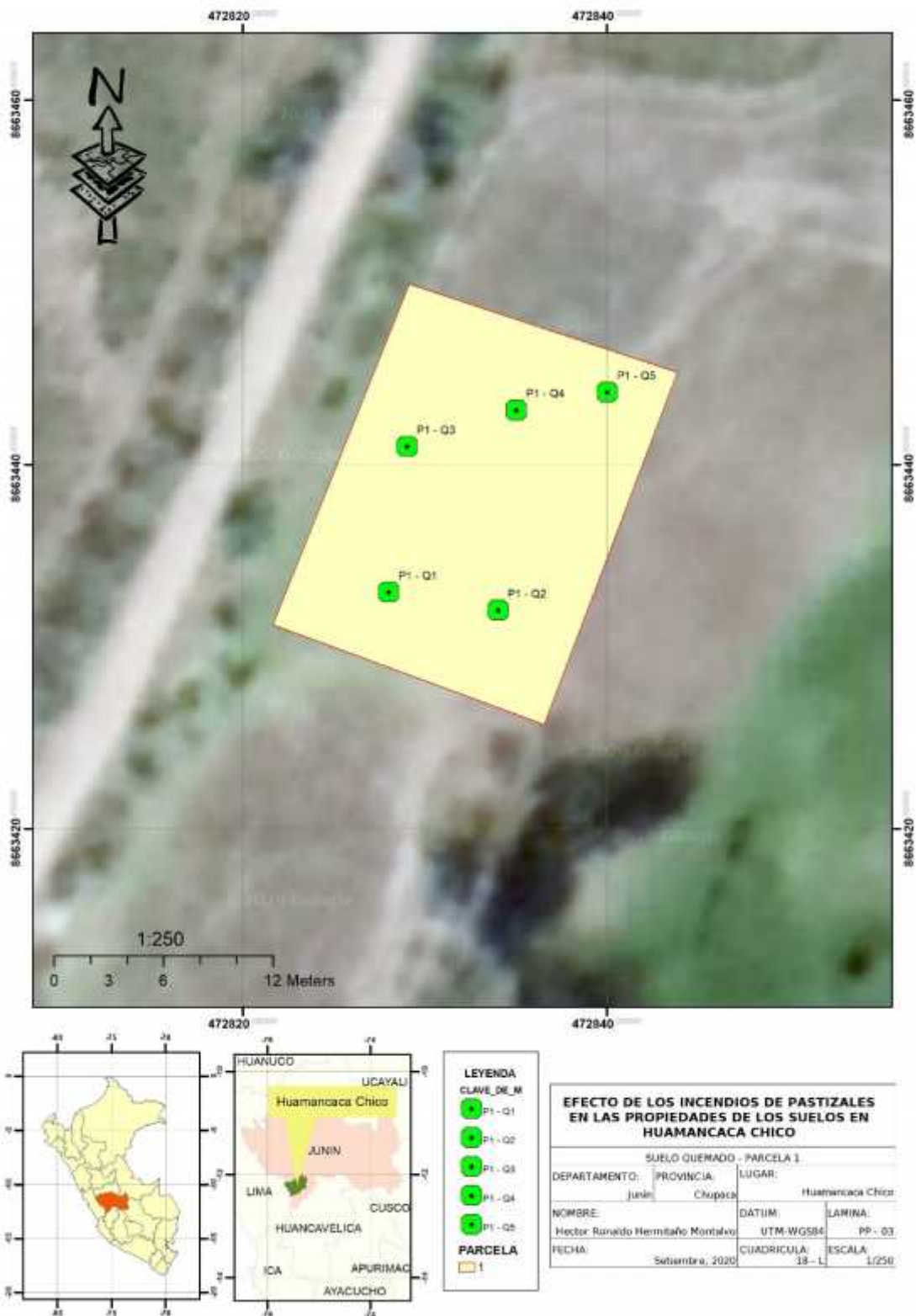


Figura 06. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 1, después de la quema.

Fuente: elaboración propia.

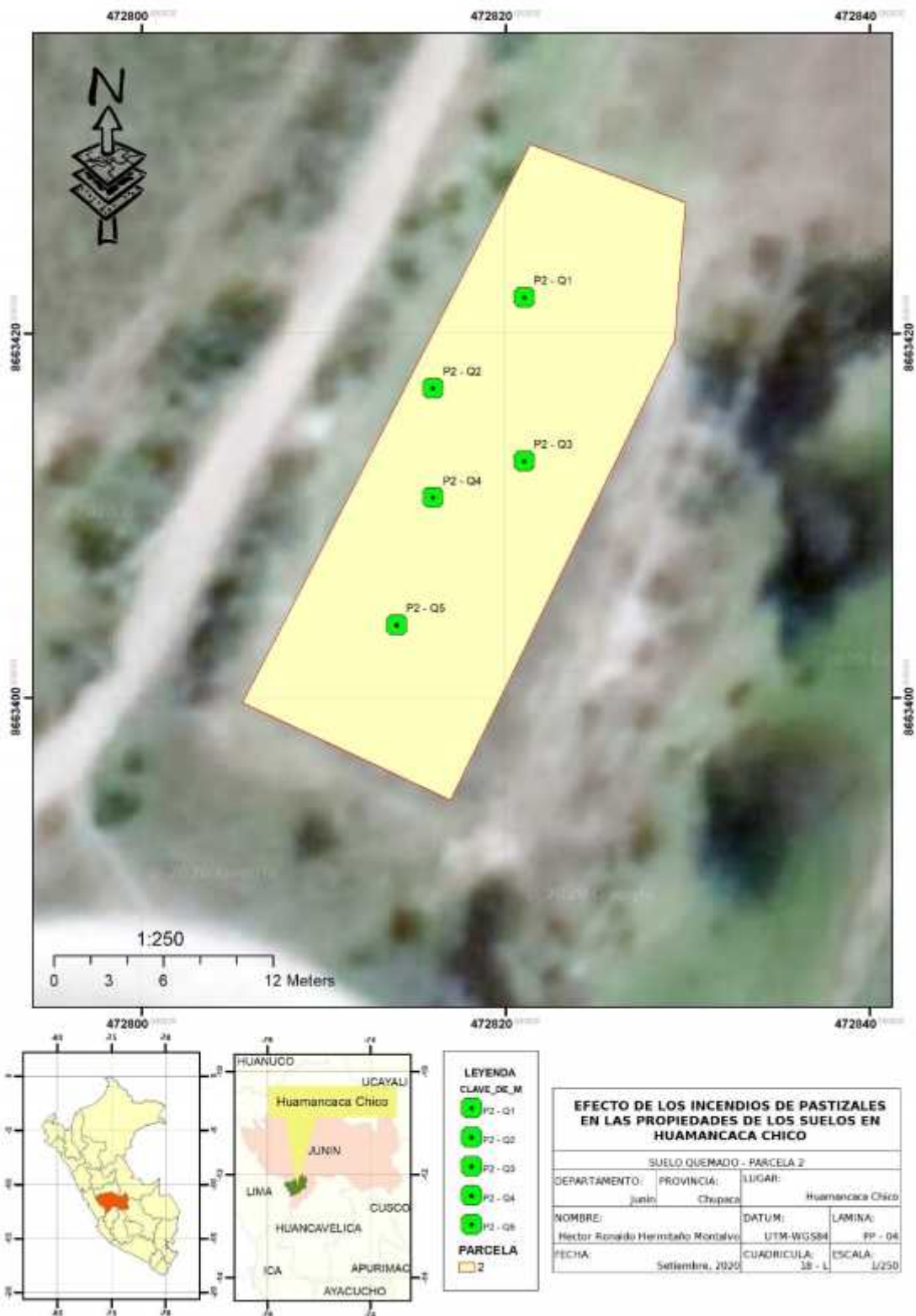


Figura 07. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo, en la parcela 2, después de la quema.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de suelo:

Los análisis de suelo se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF), Lima y en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (LASAP) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Los métodos de análisis de las muestras se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 02. *Método de análisis.*

Parámetros	Método	Unidad de expresión
Físicos:		
Densidad aparente	Probeta	Mg.m <sup>-3</sup>
Porosidad total	Probeta	%
Capacidad de campo	Gravimétrico	%
Distribución del tamaño de partículas	Bouyoucos	%
Químicos:		
pH	Potenciómetro	Unidad pH
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductómetro	dS.m <sup>-1</sup>
Carbonato de calcio	Gasovolumétrico	%
Materia orgánica	Walkley - Black	%
P disponible	Olsen modificado	ppm
K disponible	Acetato NH <sub>4</sub>	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Acetato de amonio	meq.100 g <sup>-1</sup>
Cationes cambiables (Ca, Mg, K, Na)	Acetato de amonio	meq.100 g <sup>-1</sup>

Fuente: informes proporcionados por el LASPAF-UNALM y LASAP-UNCP.

### 3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación aplicada tiene como propósito la resolución de problemas, o al desarrollo de ideas, a corto o medio plazo (90). En dicho sentido, la investigación fue de tipo aplicada, pues fue de naturaleza eminentemente práctica para aplicar las bases teóricas de los incendios en la

experimentación de parcelas con pastos naturales y evaluar su efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Así también en una investigación cuantitativa se intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento (muestra) a una colectividad mayor (universo o población) (92). En la presente investigación se emplea en enfoque cuantitativo, pues se centra en aspectos observables y susceptibles de cuantificación, como son las propiedades fisicoquímicas del suelo.

### 3.1.3. Nivel de la investigación

Los estudios explicativos se centran en abordar el por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones de manifiesta o porque se relacionan dos o más variables (92).

En dicha perspectiva, la investigación fue de nivel explicativo, porque el interés está en explicar de qué manera la variable independiente (quema de pastizales) se asocia con las variables dependientes (propiedades físicas y químicas de los suelos de Huamancaca Chico) y explicar dicha relación.

## 3.2. Diseño de la investigación

Se planteó el diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (BCA) con arreglo factorial 2 x 2 con dos repeticiones; en cada parcela sin quema se obtuvieron tres (3) muestras y en cada parcela con quema se obtuvieron cinco (5) muestras, haciendo un total de treinta y dos (32) unidades experimentales.

Tabla 03. *Factores y tratamientos en estudio.*

Nº	Factor A	Factor B (cm)	Tratamiento
1	a1: antes de la quema	b1: 0 - 5	a1b1
2		b2: 5 - 10	a1b1

3	a2: después de la quema.	b1: 0 - 5	a2b1
4		b2: 5 - 10	a2b2

Fuente: elaboración propia.

El modelo aditivo lineal del diseño experimental (BCA) es el siguiente (93):

$$\hat{y}_{ijk} = \mu + S_i + \alpha + \beta + (\alpha\beta)_{jk} + \epsilon_{jk}$$

Donde:

- )  $\hat{y}_{ijk}$  = cualquier observación del experimento.
- )  $\mu$  = media poblacional.
- )  $S_i$  = efecto de la i-ésima repetición.
- )  $\alpha$  = efecto del i-ésimo nivel del factor A.
- )  $\beta$  = efecto del i-ésimo nivel del factor B.
- )  $(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A y el i-ésimo factor del nivel B.
- )  $\epsilon_{jk}$  = error experimental.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Toda investigación debe estar sujeta a crítica y a replica, lo cual es posible si se delimita la población estudiada. Basado en ello, la población o universo representa el conjunto de todos los casos que concuerden con determinadas especificaciones (92).

La población estuvo constituida por los suelos del distrito de Huamancaca Chico, provincia de Huancayo, que cuentan con la presencia de pastos naturales y donde se practica la quema de vegetación.

#### 3.3.2. Muestra

La muestra es el subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta. Desde un enfoque cuantitativo, el objetivo es generalizar los datos de una muestra a una población (92).

Para seleccionar las unidades de muestreo, primero se realizó un recorrido por la zona de Huamancaca Chico, así se seleccionaron dos (2) parcelas cuya área era menor a cinco (5) ha y de las cuales se obtuvo treinta y dos (32) muestras en forma aleatoria y el peso de cada muestra fue de 1 kg aproximadamente.

### 3.4. Evaluaciones realizadas acerca de las propiedades del suelo

#### 3.4.1. Propiedades físicas

Densidad aparente, porosidad total, capacidad de campo, distribución del tamaño de partícula (arena, limo y arcilla).

#### 3.4.2. Propiedades químicas

pH, CE, materia orgánica, carbonato de calcio, fósforo disponible, potasio disponible, CIC, cationes cambiabiles.

### 3.5. Técnicas de recolección de datos

Se realizó un muestreo aleatorio simple de cada parcela, tomándose así tres (3) muestras individuales antes de la quema y cinco (5) muestras individuales después de la quema, éstos a dos profundidades de 0 a 3 cm y de 3 cm a 5 cm en ambos (antes de la quema y quemado). El peso de cada muestra de suelo fue de aproximadamente 1 kg, que fue colocado en una bolsa de polietileno, con los datos de: fecha, lugar de muestreo, nombre y clave de muestra; así también, fueron enviados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina y al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas de la Universidad Nacional del Centro del Perú para sus análisis.



### 3.6. Técnicas de análisis de datos

Al finalizar el experimento se sistematizaron los datos obtenidos; para cada dato de análisis se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos; si los datos demostraban una distribución normal se procedió a realizar el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $p = 0.05$ ) para comparar las medias de tratamientos; si los datos no presentaban distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

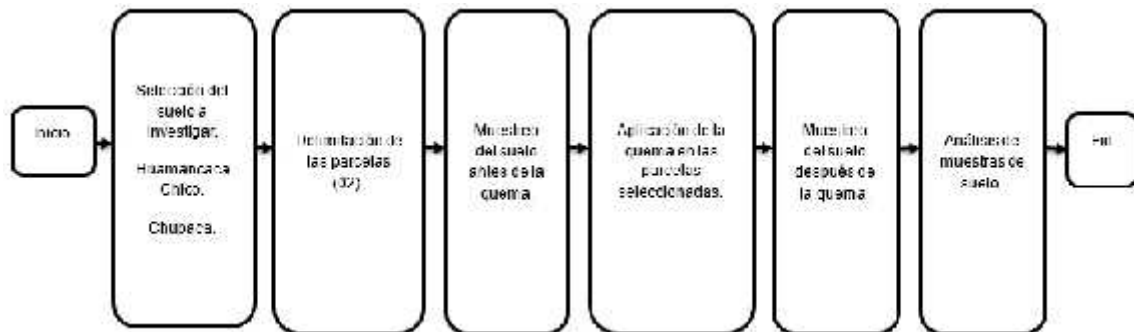


Figura 08. Diagrama de flujo del proceso experimental.

Fuente: elaboración propia.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Se presentan a continuación los resultados de los análisis de las muestras de suelo, tanto en sus propiedades físicas como químicas.

##### 4.1.1. Propiedades físicas del suelo

###### a. Densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ):

Tabla 04. *Resultados de la densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.*

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Densidad aparente ( $\text{Mg.m}^{-3}$ )	
Antes de la quema	1	0 - 3	1.22	
	1	3 - 5	1.25	
	1	0 - 3	1.06	
	1	3 - 5	1.20	
	1	0 - 3	1.09	
	1	3 - 5	1.20	
	Media 0 - 3		-	1.12
	Media 3 - 5		-	1.22

	2	0 - 3	1.14
	2	3 - 5	1.23
	2	0 - 3	1.22
	2	3 - 5	1.25
	2	0 - 3	1.22
	2	3 - 5	1.25
	Media 0 - 3	-	1.22
	Media 3 - 5	-	1.19
	1	0 - 3	0.98
	1	3 - 5	1.15
	1	0 - 3	1.05
	1	3 - 5	1.16
	1	0 - 3	1.11
	1	3 - 5	1.20
Después de la quema	1	0 - 3	1.01
	1	3 - 5	1.19
	1	0 - 3	1.18
	1	3 - 5	1.19
	Media 0 - 3	-	1.07
	Media 3 - 5	-	2.16
	2	0 - 3	1.15
	2	3 - 5	1.15
	2	0 - 3	1.06
	2	3 - 5	1.12
	2	0 - 3	1.11
	2	3 - 5	1.18
	2	0 - 3	1.12
	2	3 - 5	1.22
	2	0 - 3	1.15
	2	3 - 5	1.20
	Media 0 - 3	-	1.12
	Media 3 - 5	-	1.17

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASAP-UNCP.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 05. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la densidad aparente del suelo ( $Mg.m^{-3}$ ).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Densidad aparente ( $Mg.m^{-3}$ )	32	1.16	0.07	0.91	0.0537

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos de la densidad aparente se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

$H_0$ :  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$

$H_a$ : al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 06. *Análisis de varianza de la densidad aparente ( $Mg.m^{-3}$ ). Efecto de la quema de pastizales.*

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Repeticiones	0.0088	1	0.0088	3.5638	0.0698
Quema	0.0272	1	0.0272	11.0225	0.0026
Profundidad	0.0454	1	0.0454	18.4459	0.0002
Quema*Profundidad	0.0003	1	0.0003	0.1158	0.7363
Error	0.0665	27	0.0025		
Total	0.1531	31			

$S = 0.050 Mg.m^{-3}$

$\bar{X} = 1.160 Mg.m^{-3}$

CV = 4.291 %

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Tabla 07. Prueba de comparación múltiple de Tukey para densidad aparente. Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento	Promedio (Mg.m <sup>-3</sup> )	Significación
1	Después de la quema	1.134	a
2	Antes de la quema	1.194	b

ALS (T) 0.05 = 0.025 Mg.m<sup>-3</sup>

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Tabla 08. Prueba de comparación múltiple de Tukey para densidad aparente. Efecto de la profundidad del suelo.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (Mg.m <sup>-3</sup> )	Significación
1	0 - 3	1.125	a
2	3 - 5	1.203	b

ALS (T) 0.05 = 0.025 Mg.m<sup>-3</sup>

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El análisis de varianza presenta significación estadística para las fuentes de variabilidad quema y profundidad, debido a que el p-valor es menor que 0.05, indicando que la densidad aparente del suelo varía por efecto de la quema y la diferente profundidad de muestreo. La interacción Quema\*Profundidad no presenta significación estadística, debido a que el p-valor es mayor que 0.05. Los datos se presentan en la tabla 06. Así también, la prueba de Tukey muestra que la densidad aparente del suelo, disminuyó significativamente por efecto de la quema de vegetación natural de pastos, con un promedio de 1.13 Mg.m<sup>-3</sup>. Este efecto se atribuye al incremento de cenizas en los suelos quemados, lo cual incrementa el volumen del suelo para una misma masa, causando disminución de la densidad aparente. Los datos se presentan en la tabla 07. De igual modo, la densidad aparente se incrementó con la profundidad del suelo, de un promedio de 1.13 Mg.m<sup>-3</sup> en la capa de 0 a 3 cm, a 1.20 Mg.m<sup>-3</sup> en la capa de 3 a 5 cm, lo cual se atribuye al mayor volumen de suelo, donde están presentes las cenizas en contacto, es, decir, en la capa de 0 a 3 cm. Los datos se presentan en la tabla 08.

b. Porosidad total (%):

Tabla 09. Resultados del contenido de porosidad total (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Porosidad total (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	42.68
	1	3 - 5	46.25
	1	0 - 3	51.06
	1	3 - 5	44.58
	1	0 - 3	51.09
	1	3 - 5	46.99
	Media 0 - 3	-	48.28
	Media 3 - 5	-	45.94
	2	0 - 3	51.14
	2	3 - 5	46.91
	2	0 - 3	45.12
	2	3 - 5	45.00
	2	0 - 3	46.34
	2	3 - 5	46.25
Media 0 - 3	-	47.53	
Media 3 - 5	-	46.05	
Después de la quema	1	0 - 3	41.46
	1	3 - 5	47.13
	1	0 - 3	49.47
	1	3 - 5	46.51
	1	0 - 3	44.44
	1	3 - 5	43.37
	1	0 - 3	48.10
	1	3 - 5	45.24
	1	0 - 3	44.71
	1	3 - 5	45.24
	Media 0 - 3	-	45.64
	Media 3 - 5	-	45.50

2	0 - 3	45.98
2	3 - 5	48.28
2	0 - 3	50.00
2	3 - 5	46.07
2	0 - 3	47.78
2	3 - 5	48.24
2	0 - 3	47.19
2	3 - 5	43.90
2	0 - 3	47.13
2	3 - 5	44.58
Media 0 - 3		47.62
Media 3 - 5		46.21

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASAP-UNCP.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 10. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la porosidad total del suelo (%).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Porosidad total (%)	32	46.51	2.38	0.95	0.4964

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos de la porosidad total (%) se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

$H_0: t_1 = t_2 = t_3 = t_4$

H<sub>a</sub>: al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 11. *Análisis de varianza de la porosidad total (%). Efecto de la quema de pastizales.*

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Repeticiones	4.20	1	4.20	0.74	0.3985
Quema	3.78	1	3.78	0.66	0.4227
Profundidad	13.45	1	13.75	2.36	0.1362
Quema*Profundidad	2.43	1	2.43	0.43	0.5195
Error	153.97	27	5.70		
Total	275.84	31			

S = 2.39 %

X = 46.60 %

CV = 5.13 %

Fuente: elaboración propia con SPSS.

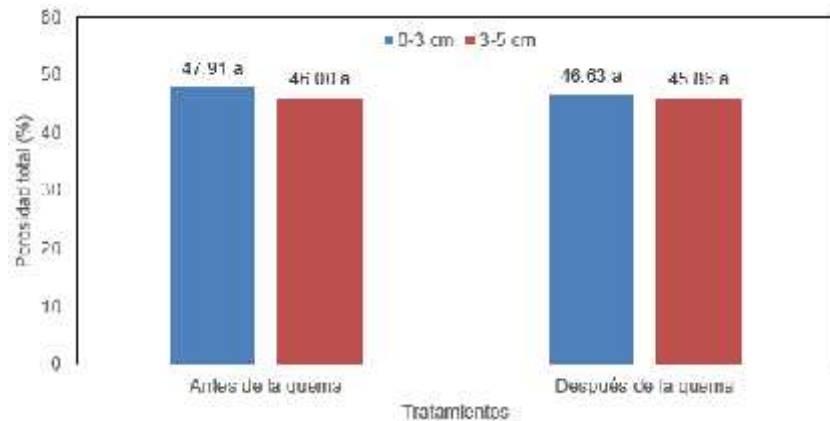


Figura 09. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en la porosidad del suelo (%).

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza no presenta significación estadística para las fuentes de variabilidad: quema, profundidad e interacción Quema\*Profundidad, debido a que el p-valor es menor que 0.05, indicando que la porosidad total (%) del suelo no varió por efecto de la quema y la diferente profundidad de muestreo. Como la porosidad depende la estructura del suelo, entonces posiblemente el fuego no



alteró los agregados del suelo, por lo tanto, no afectó la porosidad total (%) del suelo.

c. Capacidad de campo (%):

Tabla 12. *Resultados del contenido de la capacidad de campo (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.*

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	35.63
	1	3 - 5	35.37
	1	0 - 3	35.86
	1	3 - 5	35.91
	1	0 - 3	38.36
	1	3 - 5	36.51
	Media 0 - 3	-	36.62
	Media 3 - 5	-	35.93
	2	0 - 3	32.31
	2	3 - 5	32.53
	2	0 - 3	36.35
	2	3 - 5	34.81
	2	0 - 3	30.26
	2	3 - 5	27.29
Media 0 - 3	-	32.97	
Media 3 - 5	-	31.54	
Después de la quema	1	0 - 3	37.81
	1	3 - 5	38.51
	1	0 - 3	39.25
	1	3 - 5	31.74
	1	0 - 3	36.58
	1	3 - 5	31.23
	1	0 - 3	33.92
	1	3 - 5	34.57
	1	0 - 3	37.63
	1	3 - 5	27.83

Media 0 - 3	-	37.04
Media 3 - 5	-	32.78
2	0 - 3	33.87
2	3 - 5	33.31
2	0 - 3	31.99
2	3 - 5	33.99
2	0 - 3	34.67
2	3 - 5	30.90
2	0 - 3	32.44
2	3 - 5	30.39
2	0 - 3	30.73
2	3 - 5	30.03
Media 0 - 3	-	32.74
Media 3 - 5	-	31.72

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASAP-UNCP.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 13. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la capacidad de campo del suelo (%).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Capacidad de campo (%)	32	33.83	3.09	0.96	0.5204

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos de la capacidad de campo (%) se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

H<sub>0</sub>: t<sub>1</sub> = t<sub>2</sub> = t<sub>3</sub> = t<sub>4</sub>

H<sub>a</sub>: al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 14. Análisis de varianza de la capacidad de campo (%). Efecto de la quema de pastizales.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Repeticiones	80.75	1	80.75	12.56	0.0015
Quema	3.62	1	3.62	0.56	0.4593
Profundidad	25.69	1	25.69	4.00	0.0558
Quema*Profundidad	4.68	1	4.68	0.73	0.4011
Error	173.54	27	6.43		
Total	296.14	31			

S = 2.54 %

X = 33.92 %

CV = 7.49 %

Fuente: elaboración propia con SPSS.

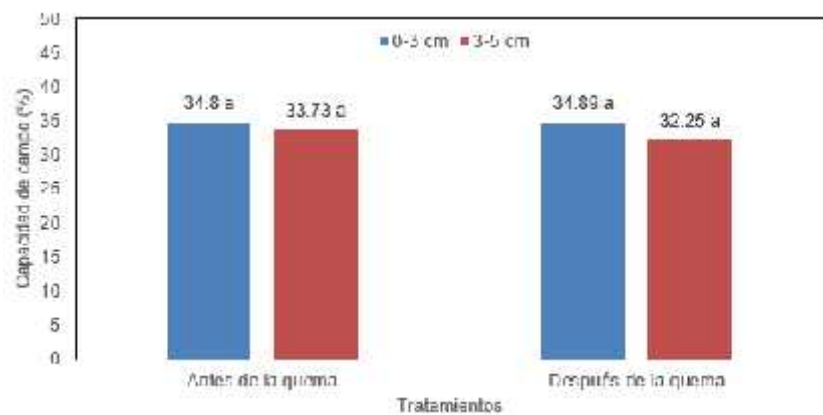


Figura 10. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en la capacidad de campo (%).

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza no presenta significación estadística para las fuentes de variabilidad: quema, profundidad y Quema\*Profundidad, debido a que el p-valor es menor que 0.05, indicando que la capacidad de campo (%) del suelo, que se refiere a la retención de agua del suelo, después que ha drenado el agua gravitacional, no varió por

efecto de la quema a diferente profundidad de muestreo. Esto se atribuye a la poca afectación del contenido de arcilla y materia orgánica, que son los componentes determinantes de la capacidad de campo (%) del suelo.

d. Contenido de arcilla (%):

Tabla 15. *Resultados del contenido de arcilla (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.*

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Contenido de arcilla (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	33
	1	3 - 5	33
	1	0 - 3	33
	1	3 - 5	39
	1	0 - 3	19
	1	3 - 5	29
	Media 0 - 3	-	28
	Media 3 - 5	-	33
	2	0 - 3	33
	2	3 - 5	31
	2	0 - 3	31
	2	3 - 5	31
	2	0 - 3	31
	2	3 - 5	31
Media 0 - 3	-	32	
Media 3 - 5	-	31	
Después de la quema	1	0 - 3	19
	1	3 - 5	33
	1	0 - 3	23
	1	3 - 5	27
	1	0 - 3	29
	1	3 - 5	33
	1	0 - 3	25
	1	3 - 5	33

1	0 - 3	25
1	3 - 5	29
Media 0 - 3		24
Media 3 - 5		31
2	0 - 3	33
2	3 - 5	33
2	0 - 3	27
2	3 - 5	31
2	0 - 3	35
2	3 - 5	35
2	0 - 3	25
2	3 - 5	33
2	0 - 3	33
2	3 - 5	35
Media 0 - 3		31
Media 3 - 5		33

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 16. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de arcilla (%)*.

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Contenido de arcilla (%)	32	30.31	4.56	0.89	0.0067

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de arcilla del suelo (%) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de arcilla (%). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (%)	Significación
1	Después de la quema 0 - 3	27.40	a
2	Antes de la quema 0 - 3	30.00	a b
3	Después de la quema 3 - 5	32.20	a b
4	Antes de la quema 3 - 5	32.33	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis muestra diferencias significativas en el contenido promedio de arcilla (%) de los tratamientos en estudio, sobresaliendo el tratamiento 1 (después de la quema a una profundidad de 0 - 3 cm), que fue el que presentó menor contenido de arcilla, sin diferencias significativas con los tratamientos 2 y 3; este efecto se atribuye a las altas temperaturas alcanzadas durante la quema, que alteran la fracción arcilla del suelo, pudiendo ser recubiertas con gránulos de arena.

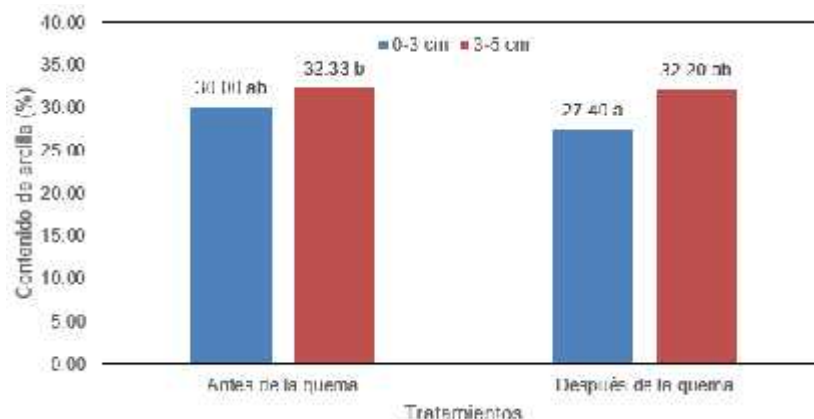


Figura 11. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el porcentaje de arcilla (%).

Fuente: elaboración propia.

e. Contenido de limo (%):

Tabla 18. Resultados del contenido de limo (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Contenido de limo (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	30
	1	3 - 5	30
	1	0 - 3	30
	1	3 - 5	26
	1	0 - 3	32
	1	3 - 5	30
	Media 0 - 3	-	31
	Media 3 - 5	-	29
	2	0 - 3	32
	2	3 - 5	32
	2	0 - 3	32
	2	3 - 5	32
	2	0 - 3	34
	2	3 - 5	34
Media 0 - 3	-	33	
Media 3 - 5	-	33	
Después de la quema	1	0 - 3	32
	1	3 - 5	34
	1	0 - 3	36
	1	3 - 5	34
	1	0 - 3	36
	1	3 - 5	32
	1	0 - 3	34
	1	3 - 5	32
	1	0 - 3	34
	1	3 - 5	30
	Media 0 - 3	-	34
	Media 3 - 5	-	32
	2	0 - 3	32
	2	3 - 5	32
2	0 - 3	30	

2	3 - 5	28
2	0 - 3	34
2	3 - 5	34
2	0 - 3	32
2	3 - 5	32
2	0 - 3	34
2	3 - 5	34
Media 0 - 3		32
Media 3 - 5		32

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

H<sub>0</sub>: La distribución es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 19. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de limo (%).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Contenido de limo (%)	32	32.19	2.18	0.91	0.0257

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de limo del suelo (%) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 20. *Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de limo (%). Efecto de la quema de pastizales.*

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (%)	Significación
1	Antes de la quema 3 - 5	30.67	a



2	Antes de la quema 0 - 3	31.67	a b
3	Después de la quema 3 - 5	32.20	a b
4	Después de la quema 0 - 5	33.40	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis, del contenido de limo (%), presenta un incremento significativo para el tratamiento 4 (después de la quema, de 0 a 3 cm), debido posiblemente al efecto de la alta temperatura generada que incrementó la proporción de limo, debido al recubrimiento que puede hacer el limo de las partículas más finas, como la arcilla. Es oportuno acotar que el limo está constituido mayormente por cuarzo, mineral resistente a la meteorización.

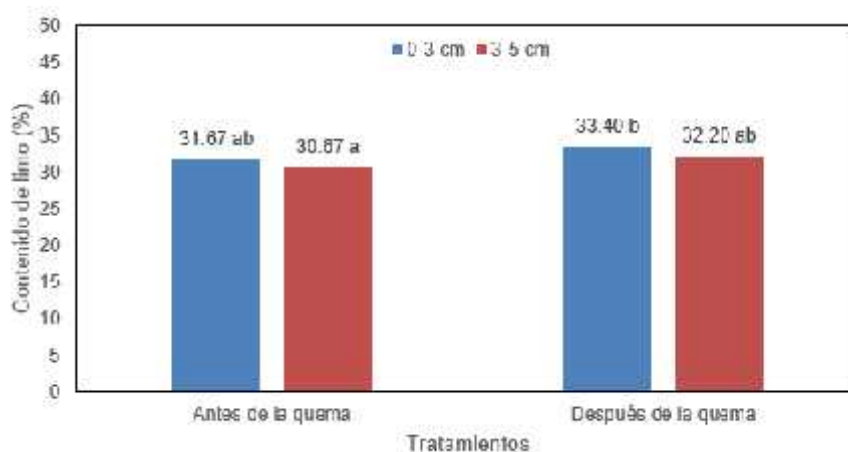


Figura 12. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el porcentaje de limo (%).

Fuente: elaboración propia.

f. Contenido de arena (%):

Tabla 21. Resultados del contenido de arena (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Contenido de arena (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	37
	1	3 - 5	37

	1	0 - 3	37
	1	3 - 5	35
	1	0 - 3	49
	1	3 - 5	41
	Media 0 - 3	-	41
	Media 3 - 5	-	38
	2	0 - 3	35
	2	3 - 5	37
	2	0 - 3	37
	2	3 - 5	37
	2	0 - 3	35
	2	3 - 5	35
	Media 0 - 3	-	36
	Media 3 - 5	-	36
	1	0 - 3	49
	1	3 - 5	33
	1	0 - 3	41
	1	3 - 5	39
	1	0 - 3	35
	1	3 - 5	35
Después de la quema	1	0 - 3	41
	1	3 - 5	35
	1	0 - 3	41
	1	3 - 5	41
	Media 0 - 3	-	41
	Media 3 - 5	-	37
	2	0 - 3	10
	2	3 - 5	35
	2	0 - 3	43
	2	3 - 5	41
	2	0 - 3	31
	2	3 - 5	31
	2	0 - 3	43
	2	3 - 5	35

2	0 - 3	33
2	3 - 5	31
Media 0 - 3		-
Media 3 - 5		-
		32
		35

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

H<sub>0</sub>: La distribución es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 22. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de arena (%).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Contenido de arena (%)	32	36.72	6.63	0.85	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de arena (%) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 23. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de arena (%). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (%)	Significación
1	Después de la quema 3 - 5	35.60	a
2	Después de la quema 0 - 3	36.70	a
3	Antes de la quema 3 - 5	37.00	a
4	Antes de la quema 0 - 5	38.33	a

Fuente: Elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis presenta promedios diferentes para el contenido de arena (%) en los tratamientos, pero sin diferencias

significativas, lo cual se atribuye a que el fuego ocasionado incrementó la temperatura en las primeras capas del suelo, pero no alteró la proporción de las partículas de arena.

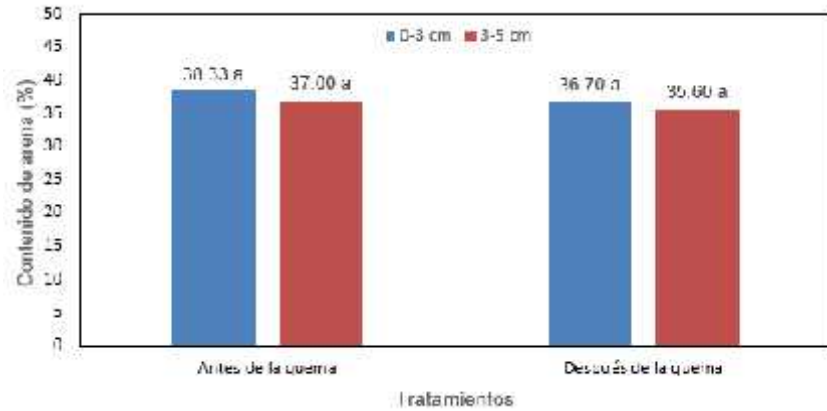


Figura 13. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el porcentaje de arena (%).

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Propiedades químicas del suelo

##### a. pH:

Tabla 24. Resultados del pH. Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	pH	
Antes de la quema	1	0 - 3	7.7	
	1	3 - 5	7.8	
	1	0 - 3	7.8	
	1	3 - 5	8	
	1	0 - 3	7.7	
	1	3 - 5	7.9	
	Media 0 - 3		-	7.7
	Media 3 - 5		-	7.9
	2	0 - 3	8	

	2	3 - 5	8.1
	2	0 - 3	7.8
	2	3 - 5	8.1
	2	0 - 3	7.8
	2	3 - 5	8.1
	Media 0 - 3		7.8
	Media 3 - 5		8.1
Después de la quema	1	0 - 3	9
	1	3 - 5	8.2
	1	0 - 3	8.7
	1	3 - 5	8.2
	1	0 - 3	9.4
	1	3 - 5	8.3
	1	0 - 3	8.6
	1	3 - 5	8.1
	1	0 - 3	8.3
	1	3 - 5	8.1
	Media 0 - 3		8.8
	Media 3 - 5		8.2
	2	0 - 3	9.9
	2	3 - 5	8.4
2	0 - 3	8.2	
2	3 - 5	8.2	
2	0 - 3	9.1	
2	3 - 5	8.6	
2	0 - 3	8.7	
2	3 - 5	8.4	
2	0 - 3	9.5	
2	3 - 5	8.3	
Media 0 - 3		9.1	
Media 3 - 5		8.4	

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

H<sub>0</sub>: La distribución es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 25. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del pH.

Variable	n	Media	D.E.	W	p
pH	32	8.34	0.54	0.87	<0.0008

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos de pH no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 26. Prueba de Kruskal-Wallis para el pH. Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (%)	Significación
1	Antes de la quema 0 - 3	7.79	a
2	Antes de la quema 3 - 5	8.00	a
3	Después de la quema 3 - 5	8.27	b
4	Después de la quema 0 - 3	8.93	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

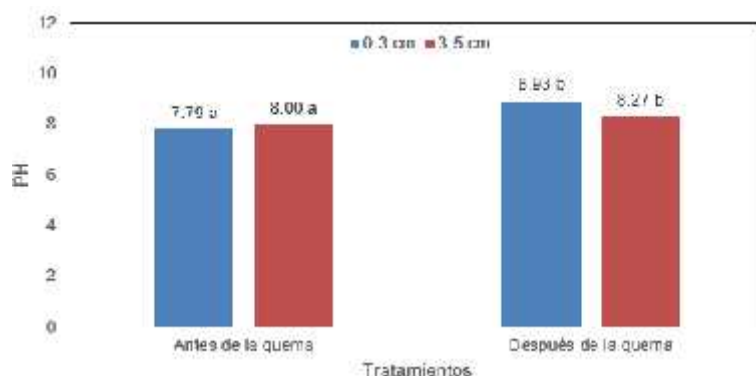


Figura 14. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el pH.

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis presenta significación estadística en los tratamientos evaluados para pH, observándose un incremento después de la quema, a las dos profundidades de evaluación, atribuible a la liberación de elementos químicos tipo alcalino, que al generar OH<sup>-</sup> incrementan el pH del suelo, respecto a la medición antes de la quema.

b. Conductividad Eléctrica (dS.m<sup>-1</sup>):

Tabla 27. Resultados de la CE (dS.m<sup>-1</sup>). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	CE (dS.m <sup>-1</sup> )
Antes de la quema	1	0 - 3	0.5
	1	3 - 5	0.5
	1	0 - 3	0.6
	1	3 - 5	0.4
	1	0 - 3	0.6
	1	3 - 5	0.4
	Media 0 - 3	-	0.6
	Media 3 - 5	-	0.4
	2	0 - 3	0.6
	2	3 - 5	0.5
	2	0 - 3	0.7
	2	3 - 5	0.5
	2	0 - 3	0.7
	2	3 - 5	0.6
Media 0 - 3	-	0.7	
Media 3 - 5	-	0.5	
Después de la quema	1	0 - 3	3.0
	1	3 - 5	0.8
	1	0 - 3	2.8
	1	3 - 5	0.7
	1	0 - 3	2.0
	1	3 - 5	0.6

1	0 - 3	2.5
1	3 - 5	0.5
1	0 - 3	1.9
1	3 - 5	0.6
Media 0 - 3		2.5
Media 3 - 5		0.6
2	0 - 3	2.1
2	3 - 5	0.6
2	0 - 3	1.8
2	3 - 5	0.7
2	0 - 3	2.3
2	3 - 5	0.9
2	0 - 3	2.0
2	3 - 5	0.8
2	0 - 3	4.6
2	3 - 5	0.8
Media 0 - 3		2.6
Media 3 - 5		0.8

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 28. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la CE ( $dS.m^{-1}$ ).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
CE ( $dS.m^{-1}$ )	32	1.21	1.00	0.75	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:



Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos de conductividad eléctrica ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 29. Prueba de Kruskal-Wallis para la CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (%)	Significación
1	Antes de la quema 3 - 5	0.48	a
2	Antes de la quema 0 - 3	0.63	a b
3	Después de la quema 0 - 3	0.70	b
4	Después de la quema 3 - 5	2.51	c

Fuente: elaboración propia con SPSS.

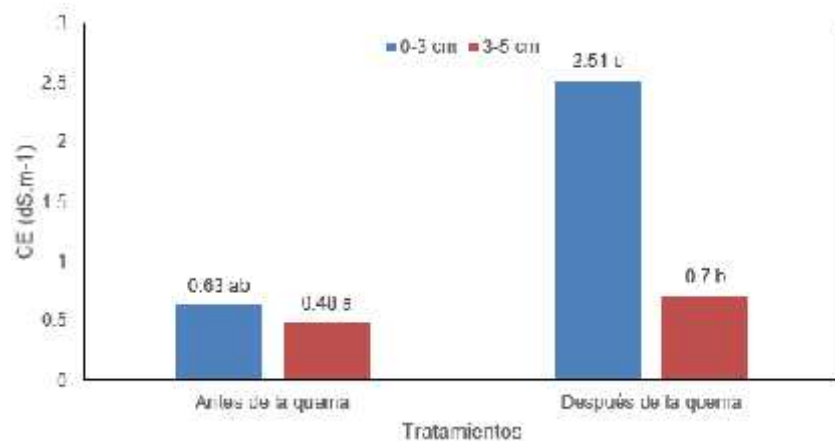


Figura 15. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en la conductividad eléctrica ( $\text{dS.m}^{-1}$ ).

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis de los tratamientos presenta después de la quema un incremento significativo en la conductividad eléctrica ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) del suelo, debido al incremento de iones liberados de la descomposición de la materia orgánica y desorción de la superficie de arcillas, que formaron sales en el suelo. Los datos alcanzados representan niveles de suelos salinos ( $\text{CE} > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ ).

c. Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>):

Tabla 30. Resultados del contenido de CaCO<sub>3</sub> (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	19.1
	1	3 - 5	20.0
	1	0 - 3	21.0
	1	3 - 5	23.9
	1	0 - 3	20.0
	1	3 - 5	21.0
	Media 0 - 3	-	20.0
	Media 3 - 5	-	21.6
	2	0 - 3	28.6
	2	3 - 5	26.7
	2	0 - 3	25.8
	2	3 - 5	26.7
	2	0 - 3	25.8
	2	3 - 5	22.9
Media 0 - 3	-	26.7	
Media 3 - 5	-	25.4	
Después de la quema	1	0 - 3	20.0
	1	3 - 5	21.9
	1	0 - 3	16.2
	1	3 - 5	19.1
	1	0 - 3	23.9
	1	3 - 5	25.8
	1	0 - 3	19.1
	1	3 - 5	21.0
	1	0 - 3	16.2
	1	3 - 5	20.0
	Media 0 - 3	-	19.1
	Media 3 - 5	-	21.6
	2	0 - 3	25.8

2	3 - 5	25.8
2	0 - 3	21.0
2	3 - 5	24.8
2	0 - 3	26.7
2	3 - 5	26.7
2	0 - 3	21.0
2	3 - 5	24.8
2	0 - 3	23.9
2	3 - 5	24.8
Media 0 - 3		23.7
Media 3 - 5		25.4

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 31. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de  $\text{CaCO}_3$  (%).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
$\text{CaCO}_3$ (%)	32	22.81	3.27	0.92	0.0715

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos del contenido de  $\text{CaCO}_3$  (%) del suelo se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

$H_0$ :  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$

$H_a$ : al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 32. Análisis de varianza del contenido de  $\text{CaCO}_3$  (%). Efecto de la quema de pastizales.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Repeticiones	169.28	1	169.28	34.50	<0.0001
Quema	8.01	1	8.01	1.63	0.2123
Profundidad	9.41	1	9.41	1.92	0.1775
Quema*Profundidad	7.06	1	7.06	1.44	0.2408
Error	133.48	27	4.91		
Total	331.68	31			

S = 2.22 %

X = 22.95 %

CV = 9.71 %

Fuente: elaboración propia con SPSS.

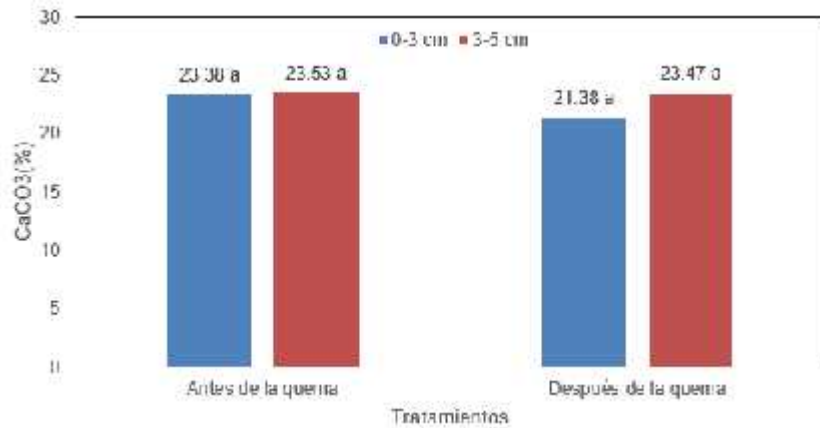


Figura 16. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de  $\text{CaCO}_3$  (%).

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza no presenta significación estadística para las fuentes de variabilidad: quema, profundidad y Quema\*Profundidad, debido a que el p-valor es menor que 0.05, indicando que el contenido de carbonato de calcio (%) del suelo no varía por efecto de la quema a diferente profundidad de muestreo. Esto se atribuye al alto contenido de caliza en estos suelos, reflejando que una pequeña alteración por efecto de la quema no es significativa.

d. Contenido de materia orgánica (MOS):

Tabla 33. Resultados del contenido de MOS (%). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	MOS (%)
Antes de la quema	1	0 - 3	4.5
	1	3 - 5	3.9
	1	0 - 3	5.4
	1	3 - 5	3.2
	1	0 - 3	5.5
	1	3 - 5	3.3
	Media 0 - 3	-	5.1
	Media 3 - 5	-	3.5
	2	0 - 3	2.1
	2	3 - 5	1.8
	2	0 - 3	3.1
	2	3 - 5	2.3
	2	0 - 3	2.2
	2	3 - 5	1.6
Media 0 - 3	-	2.5	
Media 3 - 5	-	1.9	
Después de la quema	1	0 - 3	8.5
	1	3 - 5	4.7
	1	0 - 3	6.1
	1	3 - 5	3.6
	1	0 - 3	4.5
	1	3 - 5	2.7
	1	0 - 3	6.3
	1	3 - 5	3.1
	1	0 - 3	7.0
	1	3 - 5	3.1
	Media 0 - 3	-	6.5
	Media 3 - 5	-	3.4
	2	0 - 3	3.5

2	3 - 5	2.6
2	0 - 3	6.2
2	3 - 5	3.3
2	0 - 3	2.8
2	3 - 5	1.5
2	0 - 3	5.0
2	3 - 5	3.2
2	0 - 3	4.0
2	3 - 5	1.7
Media 0 - 3		4.3
Media 3 - 5		2.5

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 34. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de MOS (%)*.

Variable	n	Media	D.E.	W	p
MOS (%)	32	3.82	1.72	0.92	0.0714

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos del contenido de MOS (%) se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

$H_0$ :  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$

$H_a$ : al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 35. *Análisis de varianza del contenido de MOS (%). Efecto de la quema de pastizales.*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>p-valor</b>
Repeticiones	25.90	1	25.90	26.83	<0.0001
Quema	6.40	1	6.40	6.63	0.0158
Profundidad	23.55	1	23.55	24.40	<0.0001
Quema*Profundidad	3.36	1	3.36	3.48	0.0732
Error	26.06	27	0.97		
Total	91.81	31			

S = 0.98 %

X = 3.71 %

CV = 26.41 %

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Tabla 36. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de MOS (%). Efecto de la quema de pastizales.*

<b>O.M.</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significación</b>
1	Después de la quema	4.17	a
2	Antes de la quema	3.24	b

ALS (T) 0.05 = 0.9653

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Tabla 37. *Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de MOS (%). Efecto de la profundidad del suelo.*

<b>O.M.</b>	<b>Tratamiento (cm)</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Significación</b>
1	0 - 3	4.59	a
2	3 - 5	2.82	b

ALS (T) 0.05 = 0.9653

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El análisis de varianza presenta significación estadística para las fuentes de variabilidad: quema y profundidad, debido a que el p-valor es menor que 0.05, indicando que el contenido de materia orgánica (%) fue afectado por los tratamientos aplicados al suelo. Los datos se presentan en la tabla 35.

El contenido de materia orgánica (%) fue superior significativamente después de la quema, comparado a la condición antes de la quema, debido posiblemente a la rapidez que se propagó el fuego en el volumen de vegetación (pastos naturales), que incorporó la materia orgánica fresca al suelo, consecuentemente el contenido de carbono en la capa superior de suelo respecto a la capa de 3 a 5 cm de profundidad. Los datos se presentan en las tablas 35, 36 y 37.

e. Fósforo disponible (P):

Tabla 38. *Resultados del contenido de P disponible (ppm). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.*

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	P (ppm)
Antes de la quema	1	0 - 3	26.3
	1	3 - 5	24.8
	1	0 - 3	45.9
	1	3 - 5	23.8
	1	0 - 3	44.4
	1	3 - 5	19.1
	Media 0 - 3	-	38.9
	Media 3 - 5	-	22.6
	2	0 - 3	42.2
	2	3 - 5	43.7
	2	0 - 3	70.8
	2	3 - 5	45.2
	2	0 - 3	44.4
	2	3 - 5	32.0
Media 0 - 3	-	52.5	
Media 3 - 5	-	40.3	
Después de la quema	1	0 - 3	162.0
	1	3 - 5	38.2
	1	0 - 3	120.2
	1	3 - 5	29.1
	1	0 - 3	86.9



1	3 - 5	29.4
1	0 - 3	139.2
1	3 - 5	33.8
1	0 - 3	73.7
1	3 - 5	25.6
Media 0 - 3		-
Media 3 - 5		-
2	0 - 3	93.8
2	3 - 5	37.8
2	0 - 3	96.8
2	3 - 5	39.3
2	0 - 3	101.2
2	3 - 5	52.5
2	0 - 3	74.1
2	3 - 5	43.0
2	0 - 3	197.2
2	3 - 5	49.2
Media 0 - 3		-
Media 3 - 5		-

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 39. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de P disponible (ppm).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
P (ppm)	32	62.05	43.13	0.81	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de P disponible (ppm) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 40. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de P disponible (%). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (ppm)	Significación
1	Después de la quema 0 - 3	114.51	a
2	Antes de la quema 0 - 3	45.67	b
3	Después de la quema 3 - 5	37.79	b
4	Antes de la quema 3 - 5	31.43	c

Fuente: elaboración propia con SPSS.

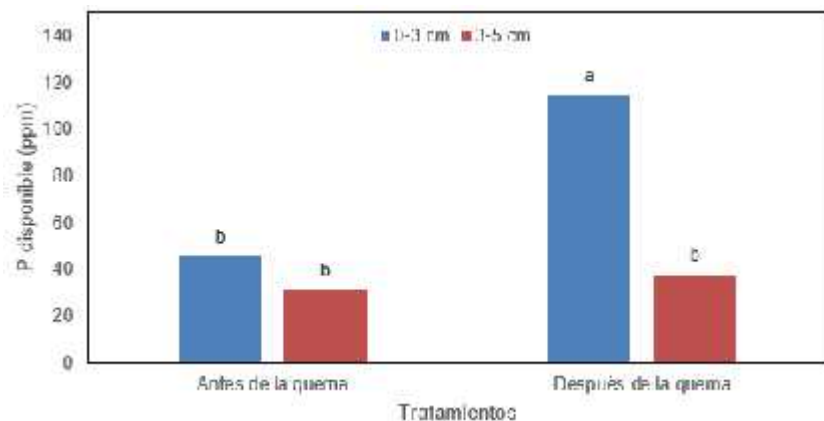


Figura 17. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de P disponible (ppm).

Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que los tratamientos antes de la quema a 0 - 3 cm y 3 - 5 cm, así como después de la quema de 3 a 5 cm, tuvieron menor contenido de P disponible que el tratamiento después de la quema a 0 - 3 cm, lo cual se atribuye al mayor contenido de materia orgánica presente en este tratamiento, considerando que la principal fuente de P disponible del suelo es la materia orgánica.

f. Potasio disponible (K):

Tabla 41. Resultados del contenido de K disponible (ppm). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	K (ppm)
Antes de la quema	1	0 - 3	445
	1	3 - 5	387
	1	0 - 3	496
	1	3 - 5	430
	1	0 - 3	492
	1	3 - 5	385
	Media 0 - 3	-	478
	Media 3 - 5	-	401
	2	0 - 3	734
	2	3 - 5	708
	2	0 - 3	810
	2	3 - 5	730
	2	0 - 3	1 070
	2	3 - 5	990
Media 0 - 3	-	871	
Media 3 - 5	-	809	
Después de la quema	1	0 - 3	3 160
	1	3 - 5	850
	1	0 - 3	1 536
	1	3 - 5	588
	1	0 - 3	2 050
	1	3 - 5	364
	1	0 - 3	1 560
	1	3 - 5	524
	1	0 - 3	1 016
	1	3 - 5	277
	Media 0 - 3	-	1 864
	Media 3 - 5	-	521
	2	0 - 3	2 690

2	3 - 5	690
2	0 - 3	1 950
2	3 - 5	876
2	0 - 3	2 480
2	3 - 5	1 107
2	0 - 3	1 338
2	3 - 5	782
2	0 - 3	3 760
2	3 - 5	800
Media 0 - 3		2 444
Media 3 - 5		851

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

H<sub>0</sub>: La distribución es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 42. *Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de K disponible (ppm).*

Variable	n	Media	D.E.	W	p
K (ppm)	32	1 127.34	866.15	0.80	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de K disponible (ppm) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 43. *Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de K disponible (%). Efecto de la quema de pastizales.*

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (ppm)	Significación
------	------------------	----------------	---------------

1	Después de la quema 0 - 3	2 154.0	a
2	Después de la quema 3 - 5	685.8	b
3	Antes de la quema 0 - 3	674.5	b
4	Antes de la quema 3 - 5	605.0	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que los tratamientos antes de la quema a 0 - 3 cm y 3 - 5 cm, así como después de la quema a 3 a 5 cm, tuvieron significativamente menor contenido de K disponible que el tratamiento después de la quema a 0 - 3 cm, lo cual se atribuye a la mayor liberación del potasio de los componentes inorgánicos del suelo, favorecido por la alta temperatura generada por la quema de la vegetación de pastizales.



Figura 18. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de K disponible (ppm).

Fuente: elaboración propia.

g. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):

Tabla 44. Resultados de la CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )
Antes de la quema	1	0 - 3	17.92
	1	3 - 5	16.48

	1	0 - 3	18.08
	1	3 - 5	17.92
	1	0 - 3	18.40
	1	3 - 5	16.96
	Media 0 - 3		-
	Media 3 - 5		-
	2	0 - 3	16.00
	2	3 - 5	15.52
	2	0 - 3	14.72
	2	3 - 5	14.40
	2	0 - 3	14.40
	2	3 - 5	16.32
	Media 0 - 3		-
	Media 3 - 5		-
	1	0 - 3	19.52
	1	3 - 5	16.64
	1	0 - 3	17.92
	1	3 - 5	16.48
	1	0 - 3	16.00
	1	3 - 5	17.28
	1	0 - 3	19.20
Después de la quema	1	3 - 5	14.88
	1	0 - 3	18.24
	1	3 - 5	16.00
	Media 0 - 3		-
	Media 3 - 5		-
	2	0 - 3	16.32
	2	3 - 5	15.52
	2	0 - 3	15.20
	2	3 - 5	14.40
	2	0 - 3	14.40
	2	3 - 5	14.88
	2	0 - 3	14.40
	2	3 - 5	15.52

2	0 - 3	14.72
2	3 - 5	14.08
Media 0 - 3		15.01
Media 3 - 5		14.88

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 45. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal de la CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	32	16.21	1.55	0.90	0.0252

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos de la CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 46. Prueba de Kruskal-Wallis para la CIC ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio ( $\text{cm.kg}^{-1}$ )	Significación
1	Después de la quema 3 - 5	15.57	a
2	Antes de la quema 3 - 5	16.27	a
3	Después de la quema 0 - 3	16.59	a
4	Antes de la quema 0 - 3	16.59	a

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, antes y después de la quema, lo cual se

atribuye a la descomposición baja de la materia orgánica por el poco volumen de la vegetación gramínea en la superficie del suelo, que hizo que el fuego fuera rápido y no afectara significativamente a los factores determinantes del contenido de CIC (principalmente arcilla).

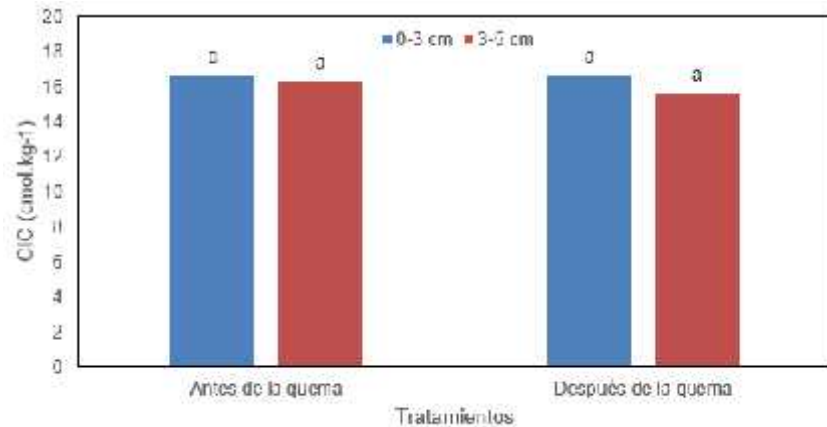


Figura 19. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en la CIC (cmol.kg<sup>-1</sup>).

Fuente: elaboración propia.

#### h. Calcio cambiante (Ca):

Tabla 47. Resultados del contenido de Ca cambiante (cmol.kg<sup>-1</sup>). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Ca (cmol.kg <sup>-1</sup> )	
Antes de la quema	1	0 - 3	14.74	
	1	3 - 5	13.44	
	1	0 - 3	14.31	
	1	3 - 5	14.71	
	1	0 - 3	15.02	
	1	3 - 5	13.91	
	Media 0 - 3		-	14.69
	Media 3 - 5		-	14.02
	Después de la quema	2	0 - 3	11.45
		2	3 - 5	10.84
2		0 - 3	10.91	



	2	3 - 5	9.90	
	2	0 - 3	8.80	
	2	3 - 5	11.37	
	Media 0 - 3	-	10.39	
	Media 3 - 5	-	10.70	
Después de la quema	1	0 - 3	11.98	
	1	3 - 5	12.12	
	1	0 - 3	11.91	
	1	3 - 5	12.65	
	1	0 - 3	8.85	
	1	3 - 5	14.00	
	1	0 - 3	14.32	
	1	3 - 5	11.73	
	1	0 - 3	13.68	
	1	3 - 5	13.09	
		Media 0 - 3	-	12.15
		Media 3 - 5	-	12.72
		2	0 - 3	5.35
		2	3 - 5	11.18
	2	0 - 3	10.23	
	2	3 - 5	8.46	
	2	0 - 3	7.72	
	2	3 - 5	8.37	
	2	0 - 3	9.22	
	2	3 - 5	10.72	
	2	0 - 3	6.60	
	2	3 - 5	9.10	
	Media 0 - 3	-	7.82	
	Media 3 - 5	-	9.57	

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 48. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Ca ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	32	11.27	2.53	0.94	0.2512

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es mayor que 0.05, se aceptó la hipótesis nula: los datos del Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realiza el análisis de varianza de los datos.

Prueba de hipótesis para el análisis de varianza:

$H_0: t_1 = t_2 = t_3 = t_4$

$H_a$ : al menos se presenta alguna diferencia entre tratamientos.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 49. Análisis de varianza del Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales.

F.V.	SC	gl	CM	Fc	p-valor
Repeticiones	113.40	1	113.40	59.01	<0.0001
Quema	26.68	1	26.68	13.88	0.0009
Profundidad	1.80	1	1.80	0.94	0.3420
Quema*Profundidad	3.33	1	3.33	1.73	0.1991
Error	51.89	27	1.92		
Total	198.74	31			

$S = 1.38 \text{ cmol.kg}^{-1}$

$X = 11.27 \text{ cmol.kg}^{-1}$

$CV = 12.24 \text{ cmol.kg}^{-1}$

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Tabla 50. Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la condición de quema.

O.M.	Tratamiento	Promedio ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	Significación
------	-------------	------------------------------------	---------------

1	Antes de la quema	12.45	a
2	Después de la quema	10.56	b

ALS (T) 0.05 = 0.9653

Fuente: elaboración propia con SPSS.

El análisis de varianza presenta significación estadística para la fuente de variabilidad: quema, debido a que el p-valor es menor de 0.05, pero no se observa significación estadística para la fuente de variación: profundidad y Quema\*Profundidad. La prueba de Tukey muestra que el Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) disminuyó significativamente después de la quema, debido a la desorción de este catión del complejo de cambio.

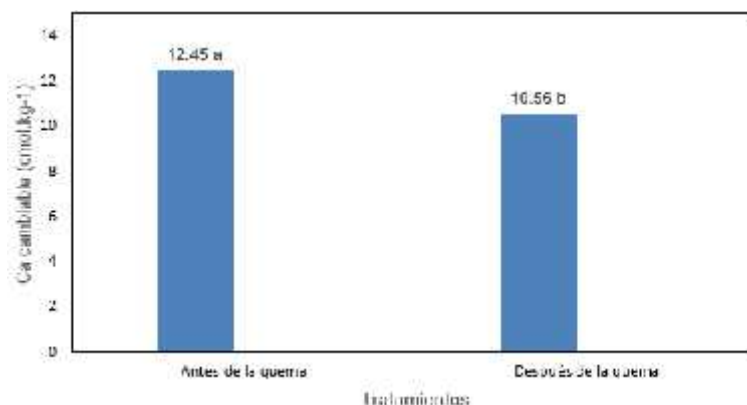


Figura 20. Efecto de la quema en el contenido de Ca cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Fuente: elaboración propia.

i. Magnesio cambiante (Mg):

Tabla 51. Resultados del contenido de Mg cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Mg ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )
Antes de la quema	1	0 - 3	2.10
	1	3 - 5	2.10
	1	0 - 3	2.42
	1	3 - 5	2.07
	1	0 - 3	2.12
	1	3 - 5	2.00

	Media 0 - 3	-	2.21	
	Media 3 - 5	-	2.06	
	2	0 - 3	2.72	
	2	3 - 5	2.65	
	2	0 - 3	2.15	
	2	3 - 5	2.57	
	2	0 - 3	2.88	
	2	3 - 5	2.78	
	Media 0 - 3	-	2.58	
	Media 3 - 5	-	2.67	
Después de la quema	1	0 - 3	3.35	
	1	3 - 5	2.63	
	1	0 - 3	2.95	
	1	3 - 5	2.23	
	1	0 - 3	4.02	
	1	3 - 5	2.40	
	1	0 - 3	2.62	
	1	3 - 5	1.97	
	1	0 - 3	2.75	
	1	3 - 5	2.08	
		Media 0 - 3	-	3.14
		Media 3 - 5	-	2.26
		2	0 - 3	5.12
	2	3 - 5	2.70	
	2	0 - 3	2.85	
	2	3 - 5	3.22	
	2	0 - 3	4.27	
	2	3 - 5	3.25	
	2	0 - 3	2.85	
	2	3 - 5	2.70	
	2	0 - 3	4.38	
	2	3 - 5	3.22	
	Media 0 - 3	-	3.89	
	Media 3 - 5	-	3.02	

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

H<sub>0</sub>: La distribución es normal.

H<sub>a</sub>: La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 52. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Mg cambiante (cmol.kg<sup>-1</sup>).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Mg (cmol.kg <sup>-1</sup> )	32	2.82	0.75	0.85	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de Mg cambiante (cmol.kg<sup>-1</sup>) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 53. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de Mg cambiante (cmol.kg<sup>-1</sup>). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio (com.kg <sup>-1</sup> )	Significación
1	Después de la quema 0 - 3	3.52	a
2	Después de la quema 3 - 5	2.64	b
3	Antes de la quema 0 - 3	2.40	b
4	Antes de la quema 3 - 5	2.36	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró al tratamiento después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, el más alto valor de Mg cambiante, el cual es superior significativamente frente a los demás tratamientos debido a la adsorción de este catión del complejo de cambio del suelo, a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea.

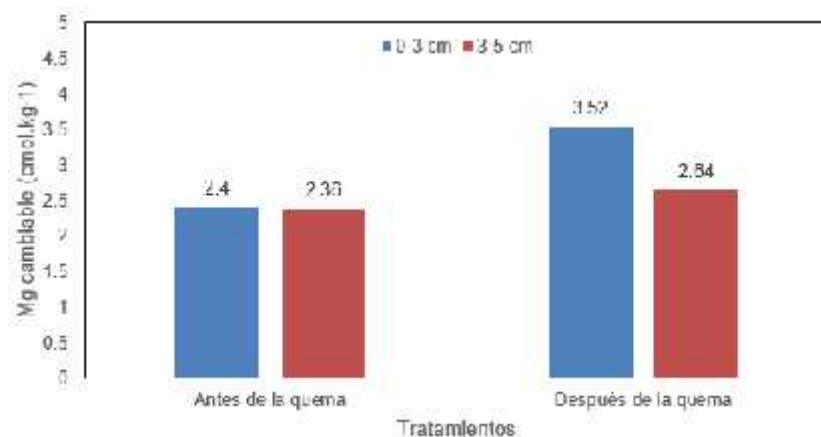


Figura 21. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de Mg cambiable (cmol.kg<sup>-1</sup>).

Fuente: elaboración propia.

j. Potasio cambiable (K):

Tabla 54. Resultados del contenido de K cambiable (cmol.kg<sup>-1</sup>). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	K (cmol.kg <sup>-1</sup> )
Antes de la quema	1	0 - 3	0.98
	1	3 - 5	0.85
	1	0 - 3	1.28
	1	3 - 5	1.06
	1	0 - 3	1.16
	1	3 - 5	0.96
	Media 0 - 3	-	1.14
	Media 3 - 5	-	0.96
	2	0 - 3	1.74
	2	3 - 5	1.92
	2	0 - 3	1.57
	2	3 - 5	1.85
2	0 - 3	2.62	
2	3 - 5	2.08	
Media 0 - 3	-	1.98	

	Media 3 - 5	-	1.95	
Después de la quema	1	0 - 3	4.04	
	1	3 - 5	1.79	
	1	0 - 3	2.94	
	1	3 - 5	1.47	
	1	0 - 3	3.03	
	1	3 - 5	0.81	
	1	0 - 3	2.13	
	1	3 - 5	1.04	
	1	0 - 3	1.69	
	1	3 - 5	0.72	
		Media 0 - 3	-	2.77
		Media 3 - 5	-	1.17
		2	0 - 3	5.69
		2	3 - 5	1.54
	2	0 - 3	2.02	
	2	3 - 5	2.62	
	2	0 - 3	2.29	
	2	3 - 5	3.15	
	2	0 - 3	2.23	
	2	3 - 5	2.02	
	2	0 - 3	3.62	
	2	3 - 5	1.67	
	Media 0 - 3	-	3.17	
	Media 3 - 5	-	2.20	

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 55. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de K cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
K ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	32	2.02	1.06	0.88	<0.0046

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de K cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 56. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de K cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	Significación
1	Después de la quema 0 - 3	2.97	a
2	Después de la quema 3 - 5	1.68	b
3	Antes de la quema 0 - 3	1.56	b
4	Antes de la quema 3 - 5	1.45	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

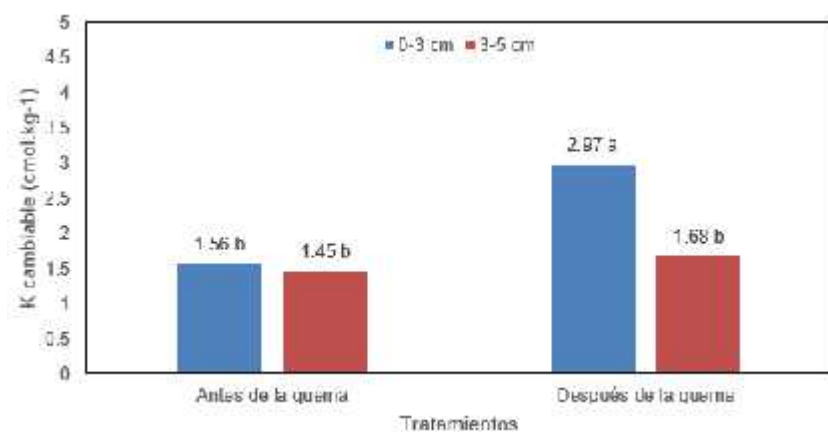


Figura 22. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de K cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Fuente: elaboración propia.



La prueba de Kruskal-Wallis mostró al tratamiento después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, con el más alto valor de K cambiante, el cual es superior significativamente frente a los demás tratamientos, debido a la adsorción de este catión del complejo de cambio del suelo a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea.

k. Sodio cambiante (Na):

Tabla 57. Resultados del contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema en suelos con pastizales, evaluados a dos profundidades.

Condición	Repetición	Profundidad (cm)	Na ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )
Antes de la quema	1	0 - 3	0.10
	1	3 - 5	0.10
	1	0 - 3	0.08
	1	3 - 5	0.08
	1	0 - 3	0.10
	1	3 - 5	0.09
	Media 0 - 3	-	0.09
	Media 3 - 5	-	0.09
	2	0 - 3	0.10
	2	3 - 5	0.10
	2	0 - 3	0.10
	2	3 - 5	0.09
	2	0 - 3	0.10
	2	3 - 5	0.09
Media 0 - 3	-	0.10	
Media 3 - 5	-	0.09	
Después de la quema	1	0 - 3	0.15
	1	3 - 5	0.10
	1	0 - 3	0.11
	1	3 - 5	0.12
	1	0 - 3	0.10

1	3 - 5	0.08
1	0 - 3	0.13
1	3 - 5	0.14
1	0 - 3	0.11
1	3 - 5	0.10
Media 0 - 3		-
Media 3 - 5		-
2	0 - 3	0.16
2	3 - 5	0.10
2	0 - 3	0.10
2	3 - 5	0.10
2	0 - 3	0.12
2	3 - 5	0.11
2	0 - 3	0.10
2	3 - 5	0.09
2	0 - 3	0.12
2	3 - 5	0.10
Media 0 - 3		-
Media 3 - 5		-

Fuente: elaboración propia considerando lo reportado por el LASFAP-UNALM.

Prueba de hipótesis para la distribución normal de los datos:

$H_0$ : La distribución es normal.

$H_a$ : La distribución no es normal.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

Tabla 58. Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal del contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Variable	n	Media	D.E.	W	p
Na ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	32	0.11	0.02	0.84	<0.0001

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión:

Como el valor de p es menor que 0.05, se rechazó la hipótesis nula: los datos del contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Tabla 59. Prueba de Kruskal-Wallis para el contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ). Efecto de la quema de pastizales.

O.M.	Tratamiento (cm)	Promedio ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ )	Significación
1	Antes de la quema 3 - 5	0.09	a
2	Antes de la quema 0 - 3	0.10	a
3	Después de la quema 3 - 5	0.10	a b
4	Después de la quema 0 - 3	0.12	b

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró al tratamiento después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, con el más alto valor de Na cambiante, el cual es superior significativamente frente a los demás tratamientos, debido a la adsorción de este catión del complejo de cambio del suelo a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea. Los valores encontrados no constituyen peligro en la sodicación del suelo, ya que el porcentaje de Na intercambiable es menor a 15.

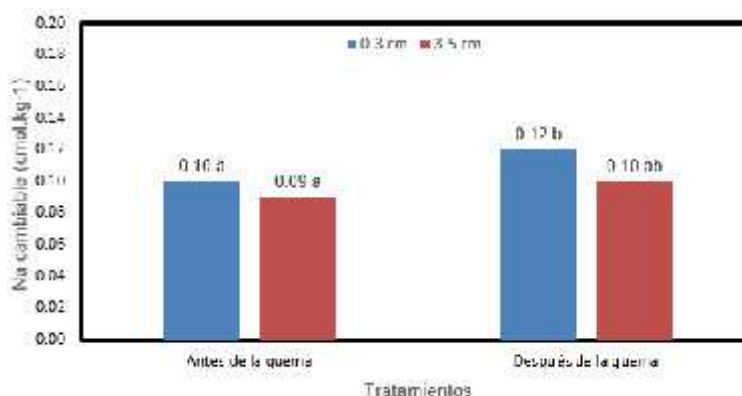


Figura 23. Interacción (condición de Quema\*Profundidad de suelo) en el contenido de Na cambiante ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ).

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Discusión de resultados

### 4.2.1. Efecto sobre las propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo presentan, como en el caso de la densidad aparente, una disminución por efecto de la quema de pastizales en  $0.06 \text{ Mg.m}^{-3}$ , diferente a lo obtenido en un suelo de Cajamarca (26) donde en el suelo quemado se incrementó en  $0.125 \text{ Mg.m}^{-3}$ , lo cual se atribuye a la diferencia de vegetación, pues en el suelo de Cajamarca fue vegetación forestal y en el suelo de Huamancaca se tuvo a pastos (gramíneas); en dicho sentido, la menor biomasa vegetal en el presente trabajo, y la presencia de cenizas, hizo disminuir la densidad aparente en la capa de 0 a 3 cm.

La porosidad total no fue afectada por efecto de la quema de vegetación; esta propiedad depende de la estructura del suelo al crear macroporos y mejorar la aireación (60); en la investigación, los resultados fueron diferentes a los encontrados en incendios forestales, donde se redujo el volumen de poros de 0.8 y 3 % en la primera zona y 15.1 % y 6.6 % en la segunda zona a profundidades de 0 a 5 cm y 5 a 10 cm (34), lo cual ha sido evidenciado por la menor intensidad y severidad del fuego en Huamancaca Chico, debido a la menor biomasa combustible (53).

La capacidad de campo del suelo no fue afectada por la quema de la vegetación, siendo en promedio 32.92 %, contrario a lo encontrado en la quema de purmas en Pichanaki, donde disminuyó la capacidad de campo en 5 y 30 cm de profundidad de 29.38 a 14.13 % y de 21.34 a 14.62 % (26); dicho escenario se atribuye a la menor vegetación en la parcela de Huamancaca Chico, lo que ocasionó menor intensidad y severidad del fuego, no causando impacto en esta propiedad física del suelo (43).

El contenido de arcilla disminuyó significativamente después de la quema en la profundidad de 0 a 3 cm de 30 a 27.40 %, similar a lo encontrado en un Alfisol, donde la tala y quema afectó con apreciables cambios en la distribución del tamaño de partículas después de la quema (34); a pesar de las diferencias en volumen de vegetación entre el Alfisol (suelo forestal)

y el suelo de Huamancaca Chico, en este último disminuyó el contenido de arcilla debido a la temperatura de quema.

El contenido de limo se incrementó significativamente en la profundidad de 0 a 3 cm de 31.67 a 33.40 % después de la quema, lo cual es contrario a lo encontrado en una quema intencional en "Corona del Fraile", Huancayo, donde se observó una disminución del contenido de limo de 38 a 27 % (23). Los resultados de Huamancaca Chico se deben a la disminución de la arcilla, que al agregarse pasa a incrementar la fracción de limo.

La fracción arena, de la distribución del tamaño de partícula, en profundidades de 0 a 3 cm, disminuyó de 38.33 a 36.70 % y de 3 a 5 cm de 37.00 a 35.60 %, evidenciando que no se tuvo un efecto significativo de la quema de vegetación de pastizales en las parcelas de Huamancaca Chico para dicha fracción, siendo resultados similares a lo reportado en Huacraruco, Cajamarca (en consecuencia a incendio forestal), donde se reporta que el efecto fue nulo en la textura del suelo (o distribución del tamaño de partículas), en profundidades de 0 a 10 cm de 48 a 49 % y de 10 a 20 cm de 39 a 41 % (26). Se demuestra entonces que solo bajo un calentamiento extremo los minerales de la arena (cuarzo principalmente) en la superficie del suelo se funden (70), lo cual no ocurrió en Huamancaca Chico debido a las menores temperaturas alcanzadas por el tipo de vegetación de menor cantidad (gramíneas).

#### 4.2.2. Efecto sobre las propiedades químicas del suelo

El pH del suelo se incrementó significativamente después de la quema a las profundidades de 0 a 3 cm de 7.79 a 8.93 % y de 3 a 5 cm de 8.00 a 8.27 %, respecto al suelo antes de la quema, lo cual se da en forma similar al trabajo de quema de purmas en Chanchamayo, donde se incrementó de 6.09 a 7.46 % (24); aquello se debe a que se incrementa el aporte de cationes, como el calcio, magnesio, potasio, silicio y fósforo, así como carbonatos en la cama de las cenizas (71).

La conductividad eléctrica del suelo se incrementó después de la quema, a profundidades de 0 a 3 cm de 0.63 a 2.51 dS.m<sup>-1</sup> y de 3 a 5 cm de 0.48

a  $0.70 \text{ dS.m}^{-1}$ , lo cual es similar a lo reportado en el trabajo de investigación de efecto del fuego en Cajamarca a profundidades de 0 a 10 cm de 0.36 a  $1.40 \text{ dS.m}^{-1}$  y de 10 a 20 cm de 0.35 a  $0.52 \text{ dS.m}^{-1}$  (27), donde se observó una alta significación estadística de la CE en las parcelas quemadas, debido principalmente al incremento de las temperaturas e incorporación de cenizas (75).

El contenido de carbonato de calcio no varió por efecto de la quema de la vegetación en el suelo de Huamancaca Chico, siendo en promedio de 22.95 %, observándose valores altos, superiores al 20 %, no teniéndose antecedentes de estudios o ensayos anteriores sobre aquella propiedad química.

El contenido de materia orgánica se incrementó significativamente después de la quema en un promedio de 4.59 % a una profundidad de 0 a 3 cm y de 2.82 % a una profundidad de 3 a 5 cm, en forma similar al trabajo de evaluación del incendio forestal en Huacraruco (Cajamarca) a profundidades de 1 a 10 cm de 1.33 % y de 10 a 20 cm de 0.78 % (26), lo cual se debe a la baja intensidad del incendio, que comparado a un ecosistema forestal, genera residuos orgánicos acumulados sobre la superficie del suelo, considerando escenarios de combustión incompleta (47), lo cual requiere una posterior evaluación.

El contenido de fósforo (P) disponible se incrementó en el suelo significativamente después de la quema a profundidades de 0 a 3 cm de 45.67 a 114.51 ppm y de 3 a 5 cm de 31.4 a 37.9 ppm, en forma similar a lo reportado en un prescrito sobre matorral, donde se observó un incremento del P disponible de 116.457 ppm promedio a profundidades de 0 a 2, 2 a 5 y 5 a 10 cm (29); esta propiedad del suelo está considerada como moderadamente sensible dentro de los umbrales de la temperatura del suelo, pues cambia a temperaturas entre 100 a  $400^{\circ}\text{C}$  (60), lo cual se debe a la transformación de formas orgánicas de fósforo (P) a formas inorgánicas y a la incorporación de cenizas producto de la combustión de la vegetación (83).

El potasio (K) disponible del suelo se incrementó significativamente en la capa de 0 a 3 cm de 674.5 a 2 154.0 ppm, similar a lo reportado en Sangal,

Cajamarca, donde se observó una significación estadística en los primeros 10 cm de 594.97 a 890.00 ppm después de un incendio forestal, lo cual se atribuyó al incremento de la temperatura del incendio e incorporación de cenizas al suelo por la combustión (27).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo no fue afectada por la quema de vegetación del tipo gramínea, siendo a profundidades de 0 a 3 cm de 16.59  $\text{cmol.kg}^{-1}$  y de 3 a 5 cm de 16.27 a 15.57  $\text{cmol.kg}^{-1}$ , similar a lo reportado en "Corona del Fraile", Huancayo, donde se observó ligeras variaciones a profundidades de 0 a 5 cm de 9.44 a 8.12  $\text{cmol.kg}^{-1}$  y de 5 a 10 cm de 8.87 a 6.14  $\text{cmol.kg}^{-1}$  (23), esto se debió a que la variación de la CIC depende de la intensidad del fuego y del tipo de suelo (81).

El contenido de cationes cambiabiles mostró una disminución significativa de calcio en promedio de 12.45 a 10.56  $\text{cmol.kg}^{-1}$  y un incremento significativo en el magnesio de 2.40 a 3.52  $\text{cmol.kg}^{-1}$ , potasio de 1.56 a 2.97  $\text{cmol.kg}^{-1}$  y sodio de 0.10 a 0.12  $\text{cmol.kg}^{-1}$  después de la quema a una profundidad de 0 a 3 cm; dicho contexto se dio de forma similar a la quema de purma en Pichanaki, donde se reportó un incremento de cationes cambiabiles entre 5 a 30 cm de profundidad (24), lo cual evidencia una mayor desorción de calcio y una mayor adsorción de magnesio, potasio y sodio. El incremento de adsorción se atribuye a la descomposición de materia orgánica que genera mayor cantidad de cargas negativas para la retención de estos iones (77).

## CONCLUSIONES

- a. La quema de vegetación de pastizales en parcelas seleccionadas de Huamancaca Chico, tuvieron el siguiente efecto en las propiedades físicas del suelo del experimento:
- Disminuyó significativamente la densidad aparente, de  $1.19 \text{ Mg.m}^{-3}$  antes de la quema a  $1.13 \text{ Mg.m}^{-3}$  después de la quema y de  $1.20 \text{ Mg.m}^{-3}$  a la profundidad de 3 a 5 cm a  $1.13 \text{ Mg.m}^{-3}$  en la profundidad de 0 a 3 cm. Este efecto se atribuye al incremento de cenizas en los suelos quemados, lo cual incrementa el volumen del suelo para una misma masa, causando disminución de la densidad aparente.
  - La porosidad total no fue afectada significativamente, alcanzando un promedio de 46.60 %. Debido a que la porosidad depende de la estructura del suelo, es posible que el fuego no alteró los agregados del suelo, por lo tanto, no afectó la porosidad total del suelo.
  - La capacidad de campo no varió significativamente, alcanzando un promedio de 33.92 %. Se atribuye tal fenómeno a la poca afectación del contenido de arcilla y materia orgánica del suelo.
  - El contenido de arcilla disminuyó significativamente después de la quema en la profundidad de 0 a 3 cm, alcanzando un promedio de 27.40 %. Este efecto se atribuye a las altas temperaturas alcanzadas durante la quema, que alteran la fracción arcilla del suelo, pudiendo ser recubiertas con gránulos de arena.
  - El contenido de limo se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, alcanzando un promedio de 33.40 %. Debido al efecto de la alta temperatura generada, que incrementó la proporción de limo, se da la disminución de la arcilla que al agregarse pasa a incrementar la fracción de limo.
  - El porcentaje de arena no varió después de la quema. Dicho escenario se atribuye a que el fuego ocasionado incrementó la temperatura en las primeras capas del suelo, pero no alteró la proporción de las partículas de arena.
- b. Las propiedades químicas del suelo mostraron mayormente un cambio significativo, con el siguiente detalle:
- El pH se incrementó significativamente en ambas profundidades, de 0 a 3 cm y de 3 a 5 cm, alcanzando promedios de 8.93 y 8.27 respectivamente. Dicho escenario se atribuye a la liberación de elementos químicos alcalinos, que al generar  $\text{OH}^-$  incrementan el pH del suelo, respecto a la medición antes de la quema.



- El contenido de carbonato de calcio no cambió debido a la quema de pastos en la parcela del experimento de Huamancaca Chico, alcanzando un valor promedio de 22.95 %. Aquello es atribuible al alto contenido de caliza en estos suelos, de modo que una pequeña alteración por efecto de la quema no es significativa.
- La materia orgánica del suelo se incrementó después de la quema de vegetación, alcanzando un promedio de 4.59 % a la profundidad de 0 a 3 cm, mientras que para la profundidad de 3 a 5 cm fue de 2.82 %. Es posible que se haya presentado dicho escenario debido a la rapidez que se propagó el fuego en el volumen de vegetación (pastos naturales), que incorporó la materia orgánica fresca al suelo y consecuentemente el contenido de carbono en la capa superior de suelo respecto a la capa de 3 a 5 cm de profundidad.
- El fósforo disponible se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, alcanzando un promedio de 114.51 ppm, superior al promedio de 45.67 ppm antes de la quema a la misma profundidad. Aquello se atribuye al mayor contenido de materia orgánica presente en dicho tratamiento, considerando que la principal fuente de P disponible del suelo es la materia orgánica.
- El potasio disponible se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, alcanzando un promedio de 2 154.0 ppm, superior al promedio de 674.5 ppm antes de la quema a la misma profundidad, debido a la alta temperatura generada por la quema de la vegetación de pastizales e incorporación de cenizas al suelo.
- No hubo un efecto de la quema de vegetación sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico, alcanzando un promedio de 16.21 cmol.kg<sup>-1</sup>. Aquello se atribuye a la descomposición baja de la materia orgánica por el poco volumen de la vegetación gramínea en la superficie del suelo, que hizo que el fuego fuera rápido y no afectara significativamente a los factores determinantes del contenido de CIC (principalmente arcilla).
- El calcio cambiante disminuyó significativamente después de la quema de la vegetación, con un promedio de 10.56 cmol.kg<sup>-1</sup> respecto a 12.45 cmol.kg<sup>-1</sup> antes de la quema, debido a la desorción de este catión del complejo de cambio.
- El magnesio cambiante se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, con un promedio de 3.52 cmol.kg<sup>-1</sup> respecto a 2.40 cmol.kg<sup>-1</sup> antes de la quema, debido a la adsorción de este catión del complejo de

cambio del suelo a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea.

- El potasio cambiante se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, con un promedio de  $2.97 \text{ cmol.kg}^{-1}$  respecto a  $1.56 \text{ cmol.kg}^{-1}$  antes de la quema, debido a la adsorción de este catión del complejo de cambio del suelo a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea.
- El sodio cambiante se incrementó significativamente después de la quema a la profundidad de 0 a 3 cm, con un promedio de  $0.12 \text{ cmol.kg}^{-1}$  respecto a  $0.10 \text{ cmol.kg}^{-1}$  antes de la quema, debido a la adsorción de este catión del complejo de cambio del suelo a causa de una mayor temperatura en los primeros 3 cm del suelo por efecto de la quema de vegetación gramínea.

## RECOMENDACIONES

- a. Realizar otros trabajos de investigación en lugares donde se practica la quema de vegetación y pastos naturales, para corroborar los resultados obtenidos y diferenciarlos del efecto de la quema de bosques.
- b. Evaluar tratamientos de biomasa vegetal de pastos que tienen quema prescrita, para comprobar el efecto en las propiedades del suelo.
- c. Ensayar quema de pastos para evaluar el efecto en las propiedades biológicas del suelo, tanto en biodiversidad como en actividad biológica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DEBANO, L. The effect of fire on soil properties. A guide to soil Quality monitoring for long term ecosystem sustainability on Northern Region National Forests. SOLO. 1990.
2. HEATHER, E. y WHITE, R. Soils under fire: Soils research and the joint Science Program. United States. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report, PNW-GTR-759, 2018, 24.
3. BOERNER, R., HUANG, J. y HART, S. Impacts of fire and fire surrogate treatments on forest soil properties: A meta-analytical approach. *Ecological Applications*, 2009, **19**, 338-358.
4. RASTAD, H. Study of fire effect on soil physical and chemical properties and regeneration at conifer stands of Guilan province. Case study Siahkal forests. M.S. Thesis. University of Gillan, 2009, 95.
5. MEDHI H., ALI S., ALI, M. y MOSTAFA, A. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forests of western Iran. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2021, 54: 24-250.
6. WELLS, C., CAMPBELL, R., DEBANO, L., LEWIS, C., FREDRICKSON, R., FRANKLIN, E., FROELICH, R. y DUNN, P. Effects of fire on soil: a state-of-the-knowledge review. Gen. Tech. Rep. WO 7. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 34 p. 1979.
7. KNOEPP, J., DEBANO, L. y NEARY, D. Soil chemistry. In: wildland fire in ecosystems. effects of fire on soil and water. United States Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Research Station. General Technical Report, 2005, **4**.
8. HINO T. y TSUTOM H. Effects of disturbance history and environmental factor on the diversity and productivity of understory vegetation in a cool-temperate forest in Japan. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257: 843-857.
9. FERNÁNDEZ F. y VEGA-HIDALGO, J. Erosión después de incendios forestales. *Boletín Informativo CIDEU. Galicia, España*, 2011, **10**. 23-36.
10. AUGUSTINE, D., BREWER, P., BLUMENTHAL, D. y DERNER, J. Prescribed fire, soil organic nitrogen dynamics, and plant responses in a semiarid grassland. *J. Arid Environ*, 2014, 104: 59-66.
11. COSTA, P., CASTELLNOU, M., LARRAÑAGA, A., MIRALLES, M. y KRAUS, D. La prevención de los grandes incendios forestales adaptada al incendio tipo. Unitat Técnica GRAF, Barcelona. 2011.

12. RASTAD H. Study of fire effect on soil physical and chemical properties and regeneration at conifer stands of Guilan provience. Case study Siahkal forests. M.S. Thesis. University of Gillan, pp. 95. 2009.
13. LIECHTY H., LUCKOW K. y GULDIN J.M. Soil chemistry and nutrient regimes following 17–21 years of shortleaf pine-bluestem restoration in the Ouachita Mountains of Arkansas. *Forest Ecology and Management*, 2005, 204: 345-357.
14. JOHNSON W. y CURTIS P.S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 2001, 140: 227-238.
15. ANDINA. Tragedia en Cusco: incendio forestal en Ocongate deja ocho muertos y 35 heridos. [En línea] 2020. [citado el: 07 de agosto de 2020].
16. CALDWELL, T., JOHNSON D., MILLER W. y QUALLS R. Forest floor carbon and nitrogen losses due to prescription fire. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 2002, 66: 262-267.
17. MATAIX-SOLERA, J., GÓMEZ I., NAVARRO-PEDREÑO, J., GUERRERO, C. y MORAL, C. Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*, 2002, 11, 107-114.
18. DIKICI, H. y YILMAZ, C. Peat fire effects on some properties of an artificially drained peatland. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35, 866-870.
19. CERTINI, G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 2005, 143: 1-10.
20. ALCAÑIZ, M., OUTERIO L., FRANCOS, M. y ÚBEDA, X. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the total Environment*, 2018, 944-957.
21. HAO, W., LIU M. y CRUTZEN P. Estimates of annual and regional releases of CO<sub>2</sub> and other trace gases to the atmosphere from fires in the tropics. In J.G. Goldammer (ed.). *Fire in the tropical biota*. Verlag. Berlin, 1990, 440-462.
22. WEIL, R. y BRADY, N. *The nature and properties of soils*. 15<sup>th</sup> ed. Estados Unidos: Pearson. 2017.
23. CÁCERES, J. *Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo*. Huancayo. 2016. Huancayo: Universidad Continental, 2018.
24. ALIAGA, D. y GARZÓN, B. *Efecto de la quema de purmas sobre la calidad del suelo en el distrito de Pichanaki, Chanchamayo*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
25. SAMANIEGO, C. *Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. Subsp. Globulus en Huaraz*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2013.

26. CASAS, M. *Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco-Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019.
27. ALVA, D. y MANOSALVA, H. *Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2019.
28. JÍMENEZ, P. *Avances en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales*. España: Universidad Miguel Hernández de Elche, 2016.
29. AFIF, E. y OLIVIERA, J. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.*, 2006, **15**, 262-270.
30. MARTÍNEZ-BECERRA, L., RAMOS-RODRÍGUEZ, M., CASTILLO-MARTÍNEZ, I., BONILLA-VICHOT, M. y SOTOLONGO-SOSPEDRA, R. 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*, 2004, **10**, 31-35.
31. CAPULÍN, J., MOHEDANO, L. y RAZO, R. Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 2010, 28.
32. MATAIX, J. *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. España: Universidad de Alicante, 1999.
33. MURPHY, J., JHONSON D., MILLER W., WALKER R., CARROLL E. y BLANK R. Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe basin watershed. *J. Environ. Qual*, 2006, 35: 479-489.
34. ARE, K., OLUWATOSIN, G., ADEYOLANU, O. y OKE, A. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 2009, 103: 4-10.
35. NEFF, J., HARDEN J. y GLEIXNER, G. Fire effects on soil organic matter content, composition, and nutrients in boreal interior Alaska. *Can. J. For. Res.* 2005, 35: 2178-2187.
36. VARELA M., RODRÍGUEZ M. y BENITO E. Impacto del fuego en la degradación física de dos suelos forestales en Galicia. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*. Coruña, 2007, **32**, 103-110.
37. CHANDLER, C., CHENEY, P., THOMAS P., TRABAUD y WILLIAMS, D. *Fire in forestry. Forest Fire Behavior and Effects*. John Wiley & Sons, New York. 1983.
38. VELDE, P. y BARRÉ, P. *Soils, plants and clay minerals: mineral and biologic interactions*. Springer Science and Business Media, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010.

39. IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change •Barros, V., Field, C., Dokken, D., Mastrandrea, M., Mach, K., Bilir, T., Chatterjee, M., Ebi, K., Estrada, O., Genova, R., Girma, B., Kissel, E., Levy, A., MacCracken, S., Mastrandrea, P. and White, L.'. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.
40. SILVESTRINI, R., SOARES-FILHO, B., NEPSTAD, D., COE, M., RODRÍGUEZ, H. y ASSUNCAO, R. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications*, 2011, 21: 1573-1590.
41. MINERVINI, G., MORRAS, H. y TABOADA, M. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 2018, 28: 012-027.
42. HERNÁNDEZ-VALENCIA, I. y LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Rev. Biol. Trop.*, 2002, 50, 1013-1019.
43. ZAVALA L., DE CELIS R. y JORDÁN A. How wildfires affect soil properties. A brief review. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 2014, 2, 311-331. ISSN 0211-6820.
44. VEBLEN T., KITZBERGER T., RAFFAELE E., MERMOZ M., GONZÁLEZ M., SIBOLD J. y HOLZ A. The historical range of variability of fires in the Andean-Patagonian Nothofagus forest region. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, 6, 724-741.
45. URRETAVIZCAYA, M. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque*, 2010, 2, 140-149.
46. KEELEY, J. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, 18: 116-126.
47. MIYANISHI, K. Duff consumption. In 'Forest Fires: Behavior and Ecological Effects' (Eds EA Johnson, K Miyanishi), 2011, 437-475.
48. SACKETT, S., HAASE, S. y HARRINGTON, M. Lessons learned from fire use restoring south-western ponderosa pine ecosystems. In "Conference on Adaptive Ecosystem Restoration and Management: Restoration of Cordilleran Conifer Landscapes of North America", 6–8 June 1995, Flagstaff, AZ. Eds WW Covington, PK Wagner USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-GTR-278, 1996, 54–61.
49. DEBANO, L. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, 2000, 231-232. doi:10.1016/S0022-1694(00)00180-32000.

50. BROOKS, M. Peak fire temperatures and effects on annual plants in the Mojave Desert. *Ecological Applications*, 2021, 12, 1088-1102. doi: 10.1890/1051-0761(2002)012 [1088: PFTAEO] 2.0.CO;2.
51. SMITH A., WOOSTER M., DRAKE N., DIPOTSO F., FALKOWSKI M. y HUDAK A. Testing the potential of multi-spectral remote sensing for retrospectively estimating fire severity in African savannahs. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 97: 92-115. doi: 10.1016/j.rse.
52. NWCG. Glossary of wildland fire terminology. National Wildfire Coordinating Group, Incident Operations Standards Working Team. 2006.
53. DICKINSON, M. y JOHNSON, E. Fire effects on trees. In "Forest Fires: Behavior and Ecological Effects". Eds EA Johnson, K Miyanishi, 2001, 477-525.
54. ICE, G., NEARY, D. y ADAMS, P. Effects of wildfire on soils and watershed processes. *Journal of Forestry*, 2004, 102: 16-20.
55. RYAN, K. y NOSTE, N. Evaluating prescribed fires. In "Proceedings, Symposium and Workshop on Wilderness Fire", 15 – 18 November 1983, Missoula, MT. Eds JE Lotan, BM Kilgore, WC Fischer, RW Mutch USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182, 1985, 230-238.
56. CHATTO, K. y TOLHURST, K. A review of the relationship between fireline intensity and the ecological and economic effects of fire, and methods currently used to collect fire data. Department of Sustainability and Environment, Fire Management Branch, 2004, 67.
57. RYAN, K. Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica*, 2002, 1, 13–39.
58. CAMPBELL, G., JUANGBAUER J., BRISTOW K. y HUNGERBFORD R. Soil temperature and water content beneath a surface fire. *Soil Science*, 1995, 6, 363-374.
59. DEBANO L., NEARY D. y FFOLLIOT P. Fire's effects on ecosystems. New York: John Wiley & Sons, 333 p. 1998.
60. NEARY, D, RYAN K. y DEBANO L. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42 Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p. 2008.
61. COUNTRYMAN, C. The nature of heat -Its role in wildland fire- Part 1. Unnumbered Publication. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 8 p. 1975.



62. CHANDLER, C., CHENEY P., THOMAS P., TRABAUD L., y WILLIAMS D. Fire in forestry: Forest fire behavior and effects. New York: John Wiley & Sons, Inc. 450 p. 1991.
63. LIDE D. Handbook of chemistry and physics. New York: CRC Press. pp. 4-81. 2001.
64. SINGER M. y MUNNS D. Soils: an introduction. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. 480 p. 1996.
65. ADARE T. A review on effects of fire and traditional practices of soil burning on soil physico-chemical properties. 2016.
66. EMERSON W. Water retention, organic carbon and soil texture. Australian Journal of Soil Research, 1995, 33: 241-251.
67. PALESE, A., GIOVANNINI, G., LUCCHESI, S., DUMONTET, S. y PERUCCI, P. Effect of fire on soil C, N and microbial biomass. INRA, EDP Sciences, France. Agronomy for Sustainable Development, 2004, 24: 47-53.
68. BARÁ, S. y VEGA, J. Efectos de los incendios forestales en los suelos del N.O. de España. Public. Dept. Forest. De las Zonas Húmedas. Lourizán, Pontevedra, CRIDA 0.1- INIA. 1983.
69. ALMENDROS, G., POLO, A., LOBO, M. e IBAÑEZ J. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. II.-Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. Rev. Ecol. Biol. Sol., 1984, 2, 145-160.
70. MATAIX J. Modificaciones físico-químicas en suelos afectados por un incendio forestal. España: Universidad de Alicante, 1997.
71. MATAIX, J.; GARCÍA, F.; MATAIX, J.; GÓMEZ, L. y NAVARRO, J. Modificaciones del contenido salino en suelos quemados: Evaluación del pH, C.E., Na, K, Ca y Mg. IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Actas del Congreso, pp 57-62. 1996.
72. OWENSBY, C. y WRYLL, J. Effect of range burning on Kansas Flint Hill soils. J. Range. Manage, 1973, 26: 185-188.
73. GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. and GIACHETTI, M. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. Soil Sci., 1990, 149: 344-350.
74. ULREY, A.; GRAHAM, R. y AMRHEIN, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. Soil Sci., 1993, 5, 358-364.
75. HERRANZ, J.; DE LAS HERAS, J. y MARTÍNEZ-SANCHEZ, J. Efecto de la orientación sobre la recuperación de la vegetación natural tras el fuego en el valle del Río Tus Ecología, 1991, 5, 111-123.

76. RUIZ DEL CASTILLO, J. Observaciones sobre la evolución de montes incendiados en la provincia de Valencia. Documentos del seminario sobre métodos y equipos para la prevención de incendios forestales. ICONA, pp: 147-156. 1988.
77. JENKINSON, D. Studies of the decomposition of plant material in soil. II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. J. Soil Sci., 1966, 17: 280-302.
78. SOTO, B., BENIRTO, E. y DIAZ-FIERROS, F. Heat-induced degradation processes in forest soils. Proc. Inter. Conf. Forest Fire Res. C.04: pp. 1-10. Coimbra. Portugal. 1990.
79. ORTIZ, R. Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas. Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas. CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), pp. 47-68. 1990.
80. MATAIX, J. Degradación y recuperación de suelos. Ponencia presentada en el "Seminario Iberoamericano de Derecho y Tecnología del Agua". Universidad de Alicante. 1994
81. GONZALES, J. Degradación de suelos por incendios forestales. Ponencia presentada en el Curso superior de "Evaluación y Conservación de suelos". Centro de Investigación y Desarrollo Agrario, Granada. Junta de Andalucía. 1998.
82. GIMENO, P. Impacto del fuego sobre ecosistemas edáficos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 1987.
83. MATAIX, J.; GUERRERO, C.; GÓMEZ, I.; NAVARRO, J. y MATAIX, J. Modifications in N, P, K, Na, Ca, Mg and organic matter contents in a forest soil affected by experimental fire. 6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate. Barcelona. Extended Abstracts, 1999, 774-776.
84. TRABAUD, L. The effect of fire on nutrient losses and cycling in a *Quercus coccifera* garrigue. Oecología, 1994, 99: 379-386.
85. LYNHAM, J.; WICKWARE, G. y MASON, J. Soil chemical changes and plant succession following experimental burning in immature jack pine. Canadian Journal of Soil Science, 1998, 78: 93-104.
86. LEWIS, W. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. Ecology, 1974, 55: 1120-1127.
87. RAISON, R., KEITH, H. y KHANNA, P. Effects of fire on the nutrient supplying capacity of forest soils. In: Dyck, W.; Meeg, C. Impact of intensive harvesting on forest site productivity. Bull. Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute, 1990, 39-54.

88. PREVOST, M. Scalping and burning of *Kalmia Angustifolia* (Ericaceae) litter: Effects on *Picea mariana* establishment and ion leaching in a greenhouse experiment. *Forest Ecology and Management*, 1994, 63: 199-218.
89. NUNEZ, T. Metodología de las Ciencias Sociales. Barcelona, España: Laia S.A., 1989.
90. CERRAGA, J. Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica. Madrid, España: Díaz de Santos, 2012.
91. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Guía para el muestreo de suelos. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. MINAM, Lima, Perú. 2014.
92. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Selección de la muestra. *Metodología de la investigación*, 2014.
93. STEEL, R. y TORRIE, J. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill. 1985.

## **ANEXOS**

Anexo 01. Resultados del análisis de suelos - UNALM.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : HÉCTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO

Departamento : JUNÍN

Distrito :

Referencia : H.R. 72694-080C-20

Bolt.: 4235

Provincia : CHUPACA

Predio : TÚPAC AMARU

Fecha : 06/10/2020

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>			
5292	P1-1, 0-3 cm	7.72	0.53	19.1	4.48	26.3	445	37	30	33	Fr.Ar.	17.92	14.74	2.10	0.98	0.10	0.00	17.92	17.92	100
5293	P1-1, 3-5 cm	7.84	0.47	20.0	3.93	24.8	387	37	30	33	Fr.Ar.	16.48	13.44	2.10	0.85	0.10	0.00	16.48	16.48	100
5294	P1-2, 0-3 cm	7.75	0.60	21.0	5.38	45.9	496	37	30	33	Fr.Ar.	18.08	14.31	2.42	1.28	0.08	0.00	18.08	18.08	100
5295	P1-2, 3-5 cm	7.97	0.42	23.9	3.24	23.8	430	35	26	39	Fr.Ar.	17.92	14.71	2.07	1.06	0.08	0.00	17.92	17.92	100
5296	P1-3, 0-3 cm	7.71	0.61	20.0	5.52	44.4	492	49	32	19	Fr.	18.40	15.02	2.12	1.16	0.10	0.00	18.40	18.40	100
5297	P1-3, 3-5 cm	7.93	0.41	21.0	3.31	19.1	385	41	30	29	Fr.Ar.	16.96	13.91	2.00	0.96	0.09	0.00	16.96	16.96	100
5298	P2-1, 0-3 cm	7.97	0.57	28.6	2.07	42.2	734	35	32	33	Fr.Ar.	16.00	11.45	2.72	1.74	0.10	0.00	16.00	16.00	100
5299	P2-1, 3-5 cm	8.05	0.54	26.7	1.79	43.7	708	37	32	31	Fr.Ar.	15.52	10.84	2.65	1.92	0.10	0.00	15.52	15.52	100
5300	P2-2, 0-3 cm	7.80	0.72	25.8	3.10	70.8	810	37	32	31	Fr.Ar.	14.72	10.91	2.15	1.57	0.10	0.00	14.72	14.72	100
5301	P2-2, 3-5 cm	8.10	0.51	26.7	2.28	45.2	730	37	32	31	Fr.Ar.	14.40	9.90	2.57	1.85	0.09	0.00	14.40	14.40	100
5302	P2-3, 0-3 cm	7.76	0.74	25.8	2.21	44.4	1070	35	34	31	Fr.Ar.	14.40	8.80	2.88	2.62	0.10	0.00	14.40	14.40	100
5303	P2-3, 3-5 cm	8.10	0.55	22.9	1.59	32.0	990	35	34	31	Fr.Ar.	16.32	11.37	2.78	2.08	0.09	0.00	16.32	16.32	100

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



Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n. Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES**  
**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**



Solicitante : HÉCTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO

Departamento : JUNÍN

Distrito :

Referencia : H.R. 72693-080C-20

Boil.: 4235

Provincia : CHUPACA

Predio : TÚPAC AMARU

Fecha : 06/10/2020

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	%. Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
5272	P1-Q1, 0-3 cm	9.02	3.00	20.0	8.48	162.0	3160	49	32	19	Fr.	19.52	11.98	3.35	4.04	0.15	0.00	19.52	19.52	100
5273	P1-Q1, 3-5 cm	8.22	0.84	21.9	4.89	38.2	850	33	34	33	Fr.Ar.	16.64	12.12	2.63	1.79	0.10	0.00	16.64	16.64	100
5274	P1-Q2, 0-3 cm	8.73	2.83	16.2	6.14	120.2	1536	41	36	23	Fr.	17.92	11.91	2.95	2.94	0.11	0.00	17.92	17.92	100
5275	P1-Q2, 3-5 cm	8.18	0.74	19.1	3.59	29.1	588	39	34	27	Fr.Ar.	16.48	12.65	2.23	1.47	0.12	0.00	16.48	16.48	100
5276	P1-Q3, 0-3 cm	9.36	2.03	23.9	4.48	86.9	2050	35	36	29	Fr.Ar.	16.00	8.85	4.02	3.03	0.10	0.00	16.00	16.00	100
5277	P1-Q3, 3-5 cm	8.26	0.61	25.8	2.69	29.4	364	35	32	33	Fr.Ar.	17.28	14.00	2.40	0.81	0.08	0.00	17.28	17.28	100
5278	P1-Q4, 0-3 cm	8.60	2.53	19.1	6.34	139.2	1560	41	34	25	Fr.	19.20	14.32	2.62	2.13	0.13	0.00	19.20	19.20	100
5279	P1-Q4, 3-5 cm	8.14	0.50	21.0	3.10	33.8	524	35	32	33	Fr.Ar.	14.88	11.73	1.97	1.04	0.14	0.00	14.88	14.88	100
5280	P1-Q5, 0-3 cm	8.30	1.93	16.2	7.03	73.7	1016	41	34	25	Fr.	18.24	13.68	2.75	1.69	0.11	0.00	18.24	18.24	100
5281	P1-Q5, 3-5 cm	8.14	0.58	20.0	3.10	25.6	277	41	30	29	Fr.Ar.	16.00	13.09	2.08	0.72	0.10	0.00	16.00	16.00	100

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



Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : HÉCTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO

Departamento : JUNÍN

Distrito :

Referencia : H.R. 72693-080C-20

Bolt : 4235

Provincia : CHUPACA

Predio : TUPAC AMARU

Fecha : 06/10/2020

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
5282	P2-Q1, 0-3 cm	9.87	2.09	25.8	3.45	93.8	2690	35	32	33	Fr.Ar.	16.32	5.35	5.12	5.69	0.16	0.00	16.32	16.32	100
5283	P2-Q1, 3-5 cm	8.35	0.56	25.8	2.55	37.8	690	35	32	33	Fr.Ar.	15.52	11.18	2.70	1.54	0.10	0.00	15.52	15.52	100
5284	P2-Q2, 0-3 cm	8.18	1.77	21.0	6.21	96.8	1950	43	30	27	Fr.Ar.	15.20	10.23	2.85	2.02	0.10	0.00	15.20	15.20	100
5285	P2-Q2, 3-5 cm	8.18	0.70	24.8	3.31	39.3	876	41	28	31	Fr.Ar.	14.40	8.46	3.22	2.62	0.10	0.00	14.40	14.40	100
5286	P2-Q3, 0-3 cm	9.11	2.27	26.7	2.76	101.2	2480	31	34	35	Fr.Ar.	14.40	7.72	4.27	2.29	0.12	0.00	14.40	14.40	100
5287	P2-Q3, 3-5 cm	8.60	0.85	26.7	1.52	52.5	1107	31	34	35	Fr.Ar.	14.88	8.37	3.25	3.15	0.11	0.00	14.88	14.88	100
5288	P2-Q4, 0-3 cm	8.65	2.02	21.0	4.97	74.1	1338	43	32	25	Fr.	14.40	9.22	2.85	2.23	0.10	0.00	14.40	14.40	100
5289	P2-Q4, 3-5 cm	8.35	0.81	24.8	3.24	43.0	782	35	32	33	Fr.Ar.	15.52	10.72	2.70	2.02	0.09	0.00	15.52	15.52	100
5290	P2-Q5, 0-3 cm	9.49	4.60	23.9	4.00	197.2	3760	33	34	33	Fr.Ar.	14.72	6.60	4.38	3.62	0.12	0.00	14.72	14.72	100
5291	P2-Q5, 3-5 cm	8.31	0.84	24.8	1.66	49.2	800	31	34	35	Fr.Ar.	14.08	9.10	3.22	1.67	0.10	0.00	14.08	14.08	100

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



*Braulio La Torre Martínez*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946 - 505 - 254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 02. Resultados del análisis de suelo - UNCP.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
 FACULTAD DE AGRONOMÍA  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS (LASAP)



**ANÁLISIS DE SUELO**

Nº: 005-2021

Solicitante : HECTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO  
 Distrito : Huamancaca Chico  
 Provincia : Chupaca  
 Departamento : Junín  
 Fecha Emisión : 20 - 01 - 2021

Nº	MUESTRA	Densidad aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )	Densidad Real (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (%)	Capacidad de Campo (%)
1	P1 (0-3 cm)	1.72	2.13	47.68	35.53
2	P1-1 (3-5 cm)	1.25	2.33	46.25	35.37
3	P1-2 (0-3 cm)	1.06	2.17	51.06	35.86
4	P1-2 (3-5 cm)	1.70	2.17	44.58	35.91
5	P1-3 (0-3 cm)	1.09	2.22	51.05	38.36
6	P1-3 (3-5 cm)	1.20	2.27	46.99	36.51
7	P2-1 (0-3 cm)	1.14	2.33	51.14	37.31
8	P2-1 (3-5 cm)	1.73	2.33	46.91	32.53
9	P2-2 (0-3 cm)	1.22	2.22	45.12	36.35
10	P2-2 (3-5 cm)	1.25	2.27	45.00	34.81
11	P2-3 (0-3 cm)	1.22	2.27	46.34	30.76
12	P2-3 (3-5 cm)	1.75	2.33	46.75	27.29

Dr. Andrés Alberto Azabache Leytón  
 Jefe LASAP-AG-UNCP

Dirección: Carretera Central Huancayo-Jauja, km 34. Distrito El Mantaro.





## ANÁLISIS DE SUELO

Nº: 005-2021

Solicitante : HECTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO  
Distrito : Huamancaca Chico  
Provincia : Chupaca  
Departamento : Junín  
Fecha Emisión : 20 - 01 - 2021

Nº	MUESTRA	Densidad aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )	Densidad Real (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (%)	Capacidad de Campo (%)
13	P1-Q1 (0-3 cm)	0.98	1.67	41.46	37.81
14	P1-Q1 (3-5 cm)	1.15	2.17	47.13	38.51
15	P1-Q2 (0-3 cm)	1.05	2.08	49.47	39.25
16	P1-Q2 (3-5 cm)	1.16	2.17	46.51	31.74
17	P1-Q3 (0-3 cm)	1.11	2.00	44.44	36.58
18	P1-Q3 (3-5 cm)	1.20	2.13	43.37	31.23
19	P1-Q4 (0-3 cm)	1.01	1.95	48.10	33.92
20	P1-Q4 (3-5 cm)	1.19	2.17	45.24	34.57
21	P1-Q5 (0-3 cm)	1.18	2.13	44.71	37.63
22	P1-Q5 (3-5 cm)	1.19	2.17	45.24	27.83

Dr. Andrés Alberto Azabache Leytón  
Jefe LASAP-AG-UNCP



## ANÁLISIS DE SUELO

N°: 005-2021

Solicitante : HECTOR RONALDO HERMITAÑO MONTALVO  
Distrito : Huancacaca Chico  
Provincia : Chupaca  
Departamento : Junín  
Fecha Emisión : 20 - 01 - 2021

N°	MUESTRA	Densidad aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )	Densidad Real (Mg.m <sup>-3</sup> )	Porosidad Total (%)	Capacidad de Campo (%)
23	P2-Q1 (0-3 cm)	1.15	2.13	45.98	33.87
24	P2-Q1 (3-5 cm)	1.15	2.22	48.28	33.31
25	P2-Q2 (0-3 cm)	1.06	2.13	50	31.99
26	P2-Q2 (3-5 cm)	1.12	2.08	46.07	33.99
27	P2-Q3 (0-3 cm)	1.11	2.13	47.78	34.67
28	P2-Q3 (3-5 cm)	1.18	2.27	48.74	30.90
29	P2-Q4 (0-3 cm)	1.12	2.13	47.19	32.44
30	P2-Q4 (3-5 cm)	1.22	2.17	43.9	30.39
31	P2-Q5 (0-3 cm)	1.15	2.17	47.13	30.73
32	P2-Q5 (3-5 cm)	1.2	2.17	44.58	30.03

Dr. Andrés Alberto Azabache Leytón  
Jefe LASAP-AG-UNCP

### Anexo 03. Acreditación del laboratorio de la UNALM, por INACAL.



#### DIRECTORIO DE LABORATORIOS ACREDITADOS

Pág. 1 de 7

La Dirección de Acreditación del INACAL, en ejercicio de sus facultades que le confieren la Ley N° 30224 y el Reglamento de Organización y Funciones, del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, ha reconocido la competencia técnica de los laboratorios indicados a continuación, previa evaluación del cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento General de Acreditación y en la norma NTP-50/IEC 17025 "Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración", acreditándolos mediante Cédula de Notificación. Escríbanlos a emitir, en el caso de:

- Laboratorios de Ensayo: Informes de Ensayo con Valor Oficial
- Laboratorios de Calibración: Certificados de Calibración con Valor Oficial

Y a utilizar el Símbolo de Acreditación, en un determinado alcance al cual se encuentra a disposición del usuario en nuestra página Web: <http://www.inacal.gob.pe>, en la siguiente ruta: "Acreditación / Directorio de Organismos de Evaluación"

Nº	Empresa	Dirección	Nº Cédula de Notificación	Periodo de Vigencia	Registro Nº	Teléfono	E-mail / Web
52	INTERNATIONAL LABORATORIES S.A.C. INTERLAB S.A.C. <a href="#">(Ver Alcance Detallado)</a>	Mz. C. Inte 1 Cooperativa Vivienda Ciudadela - Los Olivos - Lima	108-2015/PA4- INDECOPI	2015-01-28 al 2019-04-28 <i>(Vigencia reconstituida)</i>	LE-058	833-1504 921357360 985235545 RPM *306447	interlabs@interlabs.pe emmanuel@interlabs.pe www.interlabs.pe
53	INTERTEK TESTING SERVICES PERÚ S.A. <a href="#">(Ver Alcance Detallado)</a>	Ir. Mariscal José de La Mar, N° 200, Urb. El Rincón, San Luis - Lima	0642-2017- INACAL/DA	2017-11-29 al 2021-12-18	LE-016	3690940	www.intertek.com.pe
54	J. RAMÓN DEL PERÚ S.A.C. <a href="#">(Ver Alcance Detallado)</a>	Av. Los Escalantes s/n, Sector Santa Gertrudis, Parcela 5, Lurin - Lima	0019-2016- INACAL/DA	2016-01-06 al 2022-02-07	LE-078	515-3599	for.mafmag@ramoncorp.com www.jramoncorp.com
55	LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA INSTITUTO DE CERTIFICACIÓN, INSPECCIÓN Y ENSAYOS <a href="#">(Ver Alcance Detallado)</a>	Av. La Molina s/n alt. codra 16 (Ex. Av. La Universidad N° 595), La Molina - Lima. Frente a la UNALM.	0057-2016- INACAL/DA	2016-01-10 al 2022-04-09	LE-010	3446440 3492507	www.lamolina.edu.pe/calidadtotal mktg@lamolina.edu.pe
56	LABECO ANALISIS AMBIENTALES S.R.L. <a href="#">(Ver Alcance Detallado)</a>	Av. Victor Alzamora N°348 - Surquillo - Lima	443-2016- INACAL/DA	2016-09-25 al 2023-09-23	LE-034	414-8887	labeco@labecoperu.com

**Anexo 04.** Constancia del laboratorio de la UNCP.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
COORDINACIÓN GENERAL DE LABORATORIOS



El que suscribe, Coordinador General de Laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, expide la presente:

### CONSTANCIA

Que, el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas (LASAP), identificado con código F01L01LA02, está autorizado para realizar análisis de suelos, aguas y plantas, con fines de formación académica, investigación y servicio al público, cuya sede se encuentra en la Estación Experimental Agropecuaria El Mantaro, Pabellón I de la Facultad de Agronomía, km 34 de la Carretera Central, distrito El Mantaro, provincia de Jauja.

Se otorga la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

El Mantaro, 04 de julio de 2021

Mg. Narcizo Isidoro Gómez Villanes  
Coordinador General de Laboratorios  
Facultad de Agronomía - UNCP

c.c. Archivo

**Anexo 05.** Panel fotográfico.



*Fotografías 01 y 02. Zona de parcela 1, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografías 03 y 04. Zona de parcela 2, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografías 05, 06, 07 y 08. Delimitación de parcelas, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 09. Muestreo de suelo sin quemar según profundidad (0 - 3 cm), predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 10. Muestreo de suelo sin quemar según profundidad (3 - 5 cm), predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*





*Fotografías 11, 12 y 13. Extracción de muestras de suelo sin quemar, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 14. Zona de quema controlada en la parcela 1, Predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 15. Zona de quema controlada en la parcela 2, Predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 16. Zona afectada por el fuego en la parcela 1, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 17. Zona afectada por el fuego en la parcela 2, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 18. Muestreo de suelo quemado según profundidad (0 - 3 cm), predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografía 19. Muestreo de suelo quemado según profundidad (3 - 5 cm), predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



*Fotografías 20, 21 y 22. Extracción de muestras de suelo quemado, predio Túpac Amaru - Huamancaca Chico, Huancayo.*



Fotografías 23, 24 y 25. Etiquetado y rotulado de las muestras de suelo para envío a los laboratorios de la UNALM y UNCP.