

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental**



**TESIS**

**EFFECTOS DEL INCENDIO FORESTAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
QUÍMICAS DEL SUELO EN HUACRARUCO – CAJAMARCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADA POR LA BACHILLER:**

MAYRA GABRIELA CASAS TERRONES

**ASESOR:**

Dr. Edin Alva Plasencia

CAJAMARCA - PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Secretaría Académica**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

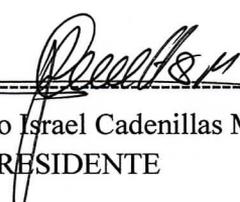
En Cajamarca, a los veintiún días del mes de junio del Año dos mil diecinueve se reunieron en el ambiente 2A – 201 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 144-2019-FCA-UNC, Fecha 31 de Mayo del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“EFECTOS DEL INCENDIO FORESTAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN HUACRARUCO - CAJAMARCA”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, de la Bachiller: **CASAS TERRONES MAYRA GABRIELA**.

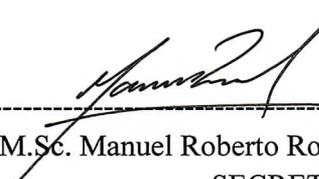
A las 9 horas y 10 minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de diecisiete (17).

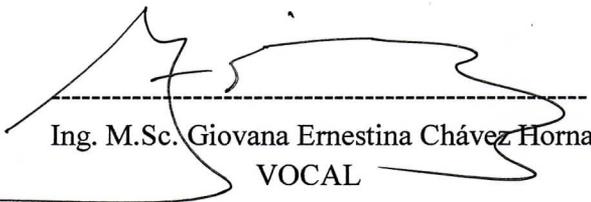
Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

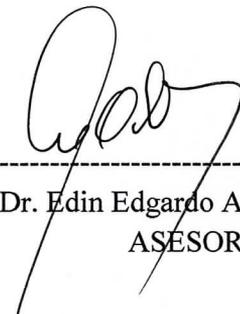
A las 10 horas y 25 minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 21 de junio de 2019.

  
-----  
Ing. M.Sc. Attilio Israel Cadenillas Martínez  
PRESIDENTE

  
-----  
Ing. M.Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
SECRETARIO

  
-----  
Ing. M.Sc. Giovana Ernestina Chávez Horna  
VOCAL

  
-----  
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a la Sra. Reina Precila Terrones Díaz, una mujer extraordinaria, que estuvo siempre conmigo y me enseñó que, a pesar de las adversidades de la vida, tenemos que mantenernos de pie y seguir luchando por nuestros sueños. A ti amada madre dedico este Trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, por los conocimientos y apoyo brindado en mi formación académica y profesional. Y también un agradeciendo especial al Dr. Edin Alva Plasencia por todo el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto.

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la plantación de *Eucalyptus globulus Labill* ubicado en la localidad de Huacraruco, Provincia de Cajamarca; en donde se determinó los efectos del incendio forestal en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, 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 sub muestras tomadas al azar en dos profundidades (0 – 10 y 10 – 20 cm); las muestras para el análisis químicos y textura del suelo (quemado y sin quemar) se realizó en el laboratorio de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía en la Universidad Nacional Agraria La Molina y en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca se determinó la densidad aparente. Con respecto a las propiedades físicas del suelo, se obtuvo que la densidad aparente se incrementó en un 0.125 g cm<sup>-3</sup> en el suelo quemado y respecto al color y textura el efecto ha sido nulo. En relación a las propiedades químicas del suelo quemado, se han incrementado los valores de materia orgánica (1.055 %), Nitrógeno (0.080 %), fósforo y potasio disponible (0.250 ppm y 61 ppm) y capacidad de intercambio catiónico (4.225 meq/100 g); por el contrario, el pH del suelo quemado decreció en 0.460 unidades. Sin embargo, estos valores varían de acuerdo a la profundidad del suelo.

**Palabras Claves:** Incendio forestal, propiedades físicas y químicas del suelo.

## ABSTRACT

The present investigation was developed in the plantation of *Eucalyptus globulus* Labill located in the town of Huacraruco, Province of Cajamarca; where the effects of the forest fire on the physical properties (texture, color and bulk density) and chemical properties (pH, organic matter, EC, CIC, exchangeable cations, available phosphorus, available potassium, carbonates and total nitrogen) of the soil were determined. The variables under study were the burned and unburned soil. The sample consisted of 15 sub samples taken at random in two depths (0 - 10 and 10 - 20 cm); the samples for chemical analysis and soil texture (burned and unburned) were carried out in the Soils, Plants and Fertilizers laboratory of the Faculty of Agronomy at the National Agrarian University La Molina and in the Soil Laboratory of the National University of Cajamarca the apparent density was determined. With respect to the physical properties of the soil, it was obtained that the apparent density increased by 0.125 g cm<sup>-3</sup> in the burned soil and with respect to the color and texture the effect was null. In relation to the chemical properties of the burned soil, the values of organic matter (1055%), Nitrogen (0.080%), available phosphorus and potassium (0.250 ppm and 61 ppm) and cation exchange capacity (4,225 meq / 100) have been increased. g); on the contrary, the pH of the burned soil decreased by 0.460 units. However, these values vary according to the depth of the soil.

**Key words:** Forest fire, physical and chemical properties of the soil

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE ANEXOS .....	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Problema de investigación .....	2
1.2. Formulación del problema .....	2
1.3. Objetivos de la investigación .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Hipótesis de investigación .....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación .....	4
2.1.1. Nivel internacional .....	4
2.1.2. Nivel nacional.....	5
2.1.3. Nivel local.....	6
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. Incendio forestal.....	7
2.2.2. Efectos ambientales de los incendios forestales .....	9
2.2.3. Efectos del fuego en el suelo .....	11
2.3. Definición de términos básicos .....	17
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. Localización del estudio .....	20
3.2. Materiales y métodos .....	22

3.3. Metodología .....	23
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Estudio general de la zona y suelo del área de estudio .....	27
4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo quemado y el suelo sin quemar .....	28
4.3. Análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo quemado y sin quemar .....	30
4.4. Análisis estadístico de los resultados .....	48
4.5. Análisis general de los efectos del incendio forestal .....	50
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ANEXOS.....	62

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Efectos socioeconómicos y ecológicos derivados de los incendios forestales.....	10
<b>Tabla 2.</b> Las alteraciones en el suelo según la temperatura. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Vías de acceso al área de estudio .....	20
<b>Tabla 4.</b> Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.....	25
<b>Tabla 5.</b> Propiedades físicas y químicas del suelo quemado y el suelo sin quemar del bosque de Huacraruco .....	29
<b>Tabla 6.</b> Resumen del diseño factorial .....	48
<b>Tabla 7.</b> Diseño factorial .....	49
<b>Tabla 8.</b> Información del factor .....	49
<b>Tabla 9.</b> Nivel de significación de la investigación .....	50
<b>Tabla 10.</b> Valoración de los efectos generados por el incendio forestal a los 8 meses. ....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio .....	21
<b>Figura 2.</b> Comparación de la densidad aparente entre el suelo quemado y el suelo sin quemar	30
<b>Figura 3.</b> Comparación del pH entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	31
<b>Figura 4.</b> Comparación de la conductividad eléctrica (C.E.) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	32
<b>Figura 5.</b> Comparación de la materia orgánica (M.O.) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	33
<b>Figura 6.</b> Comparación de nitrógeno total entre el suelo quemado y el suelo sin quemar.....	34
<b>Figura 7.</b> Comparación del fósforo (P) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar.....	36
<b>Figura 8.</b> Comparación del potasio disponible (K) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	37
<b>Figura 9.</b> Comparación del análisis mecánico de la arena entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	38
<b>Figura 10.</b> Comparación del análisis mecánico de limo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	39
<b>Figura 11.</b> Comparación del análisis mecánico de arcilla entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	40
<b>Figura 12.</b> Comparación de la C.I.C. entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	41
<b>Figura 13.</b> Comparación del catión $Ca^{+2}$ entre el suelo quemado y el suelo sin quemar.....	42
<b>Figura 14.</b> Comparación del catión $Mg^{+2}$ entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	43
<b>Figura 15.</b> Comparación del catión $K^{+}$ entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	44
<b>Figura 16.</b> Comparación del catión $Na^{+}$ entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	45
<b>Figura 17.</b> Comparación del catión $Al^{+3} H^{+}$ entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	45
<b>Figura 18.</b> Comparación de la suma de cationes entre el suelo quemado y el suelo sin quemar	46
<b>Figura 19.</b> Comparación de la suma de bases entre el suelo quemado y el suelo sin quemar ...	47
<b>Figura 20.</b> Comparación de la saturación de bases entre el suelo quemado y el suelo sin quemar .....	48

# LISTA DE ANEXOS

## Tablas – Anexos

Tabla 1. Efectos del incendio forestal en el suelo a nivel de profundidad y general.....	63
Tabla 2. Valores obtenidos de la densidad Aparente.....	64
Tabla 3. Análisis de Varianza de la densidad aparente.....	71
Tabla 4. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la densidad aparente.....	71
Tabla 5. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la densidad aparente.....	71
Tabla 6. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la densidad aparente.....	71
Tabla 7. Análisis de Varianza del pH.....	71
Tabla 8. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del pH.....	71
Tabla 9. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del pH.....	71
Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del pH.....	72
Tabla 11. Análisis de Varianza de la conductividad eléctrica.....	72
Tabla 12. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la C.E.....	72
Tabla 13. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la C.E.....	72
Tabla 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la C.E.....	72
Tabla 15. Análisis de Varianza de la materia orgánica.....	72
Tabla 16. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la M.O.....	73
Tabla 17. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del pH.....	73
Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del pH.....	73
Tabla 19. Análisis de varianza del nitrógeno total.....	73
Tabla 20. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del nitrógeno total.....	73
Tabla 21. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del nitrógeno total.....	73
Tabla 22. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del nitrógeno total.....	73
Tabla 23. Análisis de varianza del fósforo disponible.....	74
Tabla 24. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del fósforo.....	74
Tabla 25. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del fósforo.....	74
Tabla 26. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del fósforo.....	74
Tabla 27. Análisis de varianza del potasio disponible.....	74
Tabla 28. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del potasio.....	74
Tabla 29. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del potasio.....	75
Tabla 30. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del potasio.....	75
Tabla 31. Análisis de varianza de las fracciones de arena.....	75

Tabla 32. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de arena.....	75
Tabla 33. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de arena	75
Tabla 34. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la fracción de arena.....	75
Tabla 35. Análisis de varianza de las fracciones de limo.....	76
Tabla 36. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de limo.....	76
Tabla 37. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de limo	76
Tabla 38. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la fracción de limo.....	76
Tabla 39. Análisis de varianza de las fracciones de arcilla.....	76
Tabla 40. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de arcilla.....	76
Tabla 41. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de arcilla	77
Tabla 42. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la fracción de arcilla.....	77
Tabla 43. Análisis de varianza de la C.I.C.....	77
Tabla 44. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la C.I.C.....	77
Tabla 45. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la C.I.C.....	77
Tabla 46. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de la C.I.C.....	77
Tabla 47. Análisis de varianza del catión $Ca^{+2}$ .....	78
Tabla 48. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de $Ca^{+2}$ .....	78
Tabla 49. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de $Ca^{+2}$ ....	78
Tabla 50. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del catión de $Ca^{+2}$ .....	78
Tabla 51. Análisis de varianza del catión $Mg^{+2}$ .....	78
Tabla 52. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de $Mg^{+2}$ .....	78
Tabla 53. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de $Mg^{+2}$ ....	78
Tabla 54. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del catión de $Mg^{+2}$ .....	79
Tabla 55. Análisis de varianza del catión $K^{+}$ .....	79
Tabla 56. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de $K^{+}$ .....	79
Tabla 57. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de $K^{+}$ .....	79
Tabla 58. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del catión de $K^{+}$ ..	79
Tabla 59. Análisis de varianza del catión $Na^{+}$ .....	79
Tabla 60. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de $Na^{+}$ .....	80
Tabla 61. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de $Na^{+}$ ....	80
Tabla 62. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad del catión de $Na^{+}$	80
Tabla 63. Análisis de varianza del catión $Al^{+3}$ $H^{+}$ .....	80

Tabla 64. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de los cationes acidificantes (Al +3 H+)	80
Tabla 65. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de los cationes	80
Tabla 66. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad de los cationes	80
Tabla 67. Análisis de varianza de la suma de cationes	81
Tabla 68. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Suma de cationes)	81
Tabla 69. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Suma de cationes)	81
Tabla 70. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad (Suma de cationes)	81
Tabla 71. Análisis de varianza de la suma de bases	81
Tabla 72. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Suma de bases)	81
Tabla 73. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Suma de bases)	82
Tabla 74. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad (Suma de bases)	82
Tabla 75. Análisis de varianza de la saturación de bases	82
Tabla 76. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Saturación de bases)	82
Tabla 77. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Saturación de bases)	82
Tabla 78. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo * profundidad (Saturación de bases)	82

## Figuras – Anexos

Figura 1. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina - Parte 1.....	65
Figura 2. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina - Parte 2.....	66
Figura 3. Ficha de campo de la calicata H – 01 (anverso).....	67
Figura 4. Ficha de campo de la calicata H – 01 (reverso).....	68
Figura 5. Ficha de campo de la calicata H – 02 (anverso).....	69
Figura 6. Ficha de campo de la calicata H – 02 (reverso).....	70
Figura 7. Vista panorámica del área de estudio - bosque de eucaliptos en Huacraruco.....	83
Figura 8. Evidencia del incendio forestal en el bosque de Huacraruco.....	83
Figura 9. Lectura de Calicata en el suelo quemado .....	84
Figura 10. Calicata H-01, en el suelo quemado.....	84
Figura 11. Toma de muestras.....	85
Figura 12. Toma de muestras.....	85
Figura 13. Cuarteo de la muestra del suelo quemado en la profundidad 0 – 10 cm.....	86
Figura 14. Cuarteo del suelo en la profundidad.....	86
Figura 15. Etiquetado de las muestras.....	86
Figura 16. Preparación de las muestras para determinar la densidad.....	87
Figura 17. Colocación de las muestras en la estufa a una temperatura de 100 °C por 24 horas.....	87
Figura 18. Pesado de la muestra.....	87
Figura 19. Sumergimos la muestra de suelo en parafina.....	88
Figura 20. Sumergimos la muestra en una probeta con.....	88

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la FAO (2015), el suelo es un recurso finito, y su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana, así mismo, es un recurso vital para el sostenimiento de la vida en el planeta, ya que proporciona bienes y servicios ecosistémicos y ambientales. Sin embargo, se ven afectado por la erosión, la desertificación, la contaminación, la compactación y la pérdida de fertilidad, que en su mayoría son problemas generados por los incendios forestales. Conforme al reporte del Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENEPRED 2018), se han desarrollado 4 216 incendios forestales a nivel nacional durante el periodo de 2002 al 2017.

Como afirman Mataix-Solera (1999) y Mataix-Solera y Guerrero (2007) y otros autores, el suelo puede sufrir cambios directos producidos por el calentamiento, en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; y cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación micro climática después de la pérdida de cobertura vegetal.

A pesar de las cifras presentadas y diversas investigaciones al rededor del mundo sobre los efectos que causa los incendios forestales en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; en nuestro país las investigaciones son casi nula. Por lo tanto, se ha visto la necesidad de realizar la presente investigación con el fin de conocer los impactos que ha generado el incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en las plantaciones de *Eucalyptus globulus Labill* ubicado en la localidad de Huacraruco. Y cuyos resultados sirvan de base para desarrollar programas y proyectos enfocados en la recuperación de este vital recurso.

## **1.1. Problema de investigación**

La mayoría de los incendios forestales en el mundo son causados por el hombre, generalmente como consecuencia del inadecuado manejo de la quema de restos vegetales. De acuerdo a Parrilla, M. (2017), en el año 2017 se han registrado 11.600 incendios de los cuales 22 han sido categorizados como GIF (Grandes Incendios Forestales superiores a 500 hectáreas) afectando 101.000 hectáreas de cobertura vegetal; así mismo, en la región de Cajamarca, según el reporte del Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres (SINPAD) se han registrado entre el año 2016 al 2018 38 incendios forestales y entre estos se encuentra el incendio ocurrido el 08 de setiembre del año 2018 en la localidad de Huacraruco y El Clarín, el cual ha destruido 307 hectáreas de bosque de pino y eucalipto.

Y como detallan diversos autores, entre estos se encuentran, Castillo, M.; Pedernera, P y Peña, E. (2003), quienes afirman que los incendios forestales ocasionan la pérdida de fertilidad, desertización, muerte de organismos, cambio en estabilidad estructural y porosidad del suelo, cambio del pH y alteración de los nutrientes del suelo y por último generan la erosión del suelo propiciando inundaciones y huaycos. Con relación a las propiedades físicas y químicas del suelo los incendios forestales generan cambios negativos y positivos, entre estos destacan un incremento del nivel de pH por la adición de ceniza, disminución de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico y un incremento porcentual en la textura.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son los efectos del incendio forestal del año 2018 en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo en la localidad Huacraruco, provincia Cajamarca a 8 meses del incendio?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar los efectos del incendio forestal del año 2018 en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo, en la localidad Huacraruco, provincia Cajamarca a 8 meses del incendio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo en el área que ha sido afectada por el incendio forestal del año 2018.
- Determinar las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo en el área que no ha sido afectada por el incendio forestal del año 2018.
- Comparar las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo afectado y no afectado por el incendio forestal del año 2018.

### **1.4. Hipótesis de investigación**

El incendio forestal del año 2018 suscitado en la localidad Huacraruco, provincia Cajamarca, afecta negativamente en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo en el área quemada.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Nivel internacional**

Camargo *et al* (2012), desarrollaron el estudio denominado, Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia; donde se realizó tres evaluaciones, una en el año 2006, la segunda a dos años del incendio (2008) y la última a tres años del incendio (2009); las evaluaciones se realizaron para identificar las propiedades físicas y químicas de los suelos en áreas afectadas (AA) y no afectadas (NA) por el incendio. En esta investigación se incluyeron áreas donde se implementaron estrategias de restauración y dos posiciones en el relieve: valle y laderas. En general la posición del valle mostro los cambios más drásticos en el suelo a través del tiempo de evaluación. Allí, más del 50% de la materia orgánica se perdió, generando cambios también en algunas propiedades físicas como la densidad aparente y la estabilidad estructural, que después de tres años, y a pesar de las actividades de restauración, muestran evidentes problemas de degradación.

La Manna, L. y Barroetaveña, C. (2011) en su investigación de los efectos del fuego en las propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis*, obtuvieron como resultados que a los primeros centímetros del suelo (0-5 cm) se generaron las mayores diferencias en las propiedades químicas del suelo, a esta profundidad se obtuvieron aumentos significativos de pH, conductividad eléctrica y azufre, y disminución de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico y sodio, como consecuencia del fuego.

Soto, Y. (2009) realizó en el sector de Cuinco alto, Chile; una investigación sobre la determinación de parámetros químicos y poblaciones bacterianas del suelo relacionadas con el ciclo del carbono y nitrógeno, antes y después de la quema de residuos de cosecha de trigo, concluyendo que la población bacteriana psicrófila disminuye inmediatamente posterior a la quema de residuos a un nivel de menos de 30% del valor inicial a la cosecha, recuperándose después de 6 meses de la quema a niveles normales.

Bernardis *et al* (2004); realizaron en Argentina, el análisis del impacto ambiental de la quema prescrita de un pastizal sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo, concluyendo que la quema prescrita en forma anual de los pastizales, durante dos años, no tuvo un efecto significativo sobre los contenidos de materia orgánica y nitrógeno del suelo.

Hernández, I. y López D. (2002) realizaron en Venezuela, el estudio de pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*, donde obtuvieron como resultados que la pérdida de nutrientes provocada por el fuego fue del 95% de la biomasa, 97% del N, 61 % del P, 76% del K y 65% de Ca y Mg fueron transferidos a la atmósfera. La deposición de ceniza devolvió entre 21-34% de Mg, Ca, K y P y 0.2% de N. Los datos previos indicaron que la precipitación y la fijación atmosférica (en el caso del N) podrían remplazar el resto de N, K y Mg transferido a la atmósfera. Como consecuencia de las quemas frecuentes (anuales o bianuales), el suelo de la sabana mostró menor contenido de materia orgánica y menor disponibilidad de P y K cuando se le compara con una Sabana protegida durante 32 años.

### **2.1.2. Nivel nacional**

Cáceres, JA. (2018) analizó el efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huancayo, donde concluyó que la quema no tuvo efecto significativo en las propiedades químicas del suelo: pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable, siendo los valores de pH ácido, baja conductividad eléctrica, alto contenido de materia orgánica, bajo fósforo disponible, medio a alto contenido de potasio disponible, baja a moderadamente baja capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de bases y baja acidez intercambiable.

Viviana, V. (2016) realizó la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después de la quema en dos tipos de suelo en el distrito de Campo Verde, en Ucayali, en donde obtuvo como resultado que el principal parámetro que experimenta cambios después de una quema es el pH para ambos ecosistemas; los elementos principales como el P, Mg, K y Ca, experimentan variaciones de aumento al igual que la materia Orgánica y la Capacidad de Intercambio Catiónico; sin embargo, estadísticamente no tienen significancia, mientras que las texturas en ambos tipos de suelo no presentan modificaciones después de someterse a la quema en ambos ecosistema.

### **2.1.3. Nivel local**

Alva, D. y Manosalva H. (2019) realizaron el proyecto de investigación denominado, efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca; cuyo objetivo fue analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas el suelo a tres meses después del incendio forestal. La evaluación se realizó en seis condiciones de estudio generadas por la combinación de parcelas sin quemar, parcialmente quemadas y completamente quemadas y las profundidades de muestreo de 0 - 10 cm y de 10 - 20 cm. En la investigación se determinó que el fuego tuvo un mayor efecto en los 10 cm superiores del suelo, registrándose una alta significación estadística en la conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, magnesio cambiante; significación estadística en el potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico, concentraciones que se incrementaron en las parcelas quemadas. No se registraron diferencias significativas en el pH, textura y en disponibilidad de calcáreo total, fósforo disponible, calcio, potasio y sodio cambiante entre las condiciones de estudio. Con relación al color del suelo, en parcelas afectadas por el fuego, el matiz Munsell no varió, el brillo disminuyó ligeramente y la intensidad se mantuvo. 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.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Incendio forestal**

De acuerdo a Flores, JG. (2009), un incendio forestal se define como la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal. Y de acuerdo a Rodríguez, D; Rodríguez, M. y Fernández, F. (2000); el fuego es la liberación de energía en forma de luz y calor, producto de la combustión, mismo que para su producción se requiere de los elementos que conforman el triángulo de fuego, los cuales son combustible, calor y oxígeno; si alguno de estos elementos faltara no se producirá el fuego.

#### **2.2.1.1. Clases de incendios forestales**

De acuerdo a Toledo (1988) y Verduzco (1978) citado por Flores, JG (2009), no todos los incendios forestales son iguales, estos se pueden clasificar de acuerdo a la intensidad, velocidad y el estrato de bosque que se quema. las cuales se describen a continuación:

##### **A. Según el estrato que se quema**

De acuerdo al estrato que se quema este se clasifica en tres categorías, las cuales se describen a continuación.

##### **- Incendios subterráneos**

Se producen en las capas orgánicas del suelo forestal, debido a la escasez de oxígeno por la compactación de las capas. Los incendios subterráneos se desarrollan prácticamente sin llama y de manera lenta pero persistente, generan una gran cantidad de calor por lo que resultan muy destructivos para el suelo (Flores, JG. 2009).

- **Incendios superficiales**

Son los incendios que se desarrollan sobre el suelo forestal; no alcanzan a quemar las capas de los árboles, pero consumen el combustible compuesto por los troncos derribados, los tocones, ramas, hojarasca, hierbas, pastos y el renuevo. Se caracteriza por su rápida propagación, por sus llamas y las apreciables humaredas que generan (Flores, JG. 2009).

- **Incendios de Copa**

En esta clase de incendios, las llamas suelen pasar de una copa a otra con gran rapidez. Normalmente son causados por un incendio superficial; ocurren al incendiarse la resina que escurre de los árboles o por la presencia del viento que aviva las llamas de manera que alcanzan el follaje. Son más frecuentes en los bosques de coníferas debido a la acumulación de hojas secas (Flores, JG. 2009).

## **B. Según la intensidad**

De acuerdo a Wells (1981), citado por Fernández, I. (1997), tanto en incendios naturales como los causados por la actividad del hombre, la posibilidad de medir la temperatura alcanzada es casi mínima, por lo que la intensidad del fuego se deduce de la reducción que se produce en la vegetación y en el horizonte orgánico y de la cantidad de suelo mineral que queda al desnudo.

Así mismo, Chandler et al. (1983), citado por Fernández, I. (1997), clasificaron a los incendios en función a la temperatura que el suelo es expuesto.

- **Suaves**

Se caracterizan por presentar en el horizonte superficial del suelo cenizas negras, formadas por restos chamuscados de residuos vegetales. En estos incendios, la temperatura máxima que se alcanza en la superficie del suelo está comprendida entre 100 y 250° C y entre 1 y 2 cm por debajo de la superficie la temperatura no excede de los 100° C.

- **Moderados**

La temperatura en la superficie del suelo oscila entre 300 y 400° C, por lo que se produce una combustión parcial de la materia orgánica, desapareciendo toda la hojarasca y los restos vegetales. A 1 cm de profundidad se alcanzan temperaturas comprendidas entre 200 y 300° C, afectando al horizonte orgánico del suelo, mientras que se estima que a 3-5 cm la temperatura no supera los 80° C.

- **Intensos**

La superficie del suelo presenta cenizas blancas, lo que indica una combustión completa de la materia orgánica, alcanzándose en la zona más superficial temperaturas comprendidas entre 500 y 700° C. A 2 o 3 cm de profundidad las temperaturas oscilan entre los 150 y los 400° C y el efecto del calor es mínimo a profundidades superiores a 7-10 cm.

## **2.2.2. Efectos ambientales de los incendios forestales**

El efecto inmediato de los incendios forestales es la generación y liberación de gases y partículas a la atmósfera, como consecuencia de la combustión de la biomasa proveniente de los bosques, praderas y tierras agrícolas. Desde hace más de dos décadas, agencias internacionales y científicos han estado estudiando el efecto de los incendios forestales sobre el paisaje, sus sistemas ecológicos, la salud humana y la actividad económica y sociocultural, cuya información ha sido plasmada en la Tabla 1. Por otra parte, es indudable que muchos ecosistemas naturales dependen en gran medida de la dinámica natural del fuego para su evolución; sin embargo, los efectos negativos se ven reflejados en la pérdida de cobertura vegetal, procesos de sedimentación de cauces, pérdida de la biodiversidad, contaminación de aguas, procesos de erosión, cambios micro climáticos, alteración en procesos migratorios, y otros innumerables efectos, muchos de los cuales sólo se manifiestan luego de decenas de años (Castillo, M.; Pedernera, P y Peña, E. 2003).

**Tabla 1.** Efectos socioeconómicos y ecológicos derivados de los incendios forestales.

<b>EFFECTOS SOCIOECONÓMICOS</b>	<b>EFFECTOS ECOLÓGICOS</b>
<p>En la salud pública:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdidas de vidas humanas.</li> <li>- Contaminación de suelos, agua y atmósfera</li> </ul>	<p>En el clima, a pequeña y gran escala:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambios en los regímenes de vientos locales</li> <li>- Aumento de la radiación solar y disminución de la humedad ambiental</li> <li>- Reducción de la disponibilidad de oxígeno</li> <li>- Contaminación atmosférica</li> </ul>
<p>Daños a la propiedad pública y privada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bosques, terrenos agrícolas y ganaderos.</li> <li>- Áreas de recreación, Parques y Reservas Nacionales</li> </ul>	<p>En el suelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosión y pérdida de suelos</li> <li>- deterioro de las propiedades físicas y químicas</li> <li>- Pérdida de nutrientes - incremento de la temperatura del suelo</li> <li>- Destrucción de la microfauna y estrato orgánico no incorporada al suelo mineral</li> </ul>
<p>Pérdida, paralización o postergación de etapas de los procesos productivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingreso más tardío a cosecha y etapas de transformación de la madera, que son las que aportan más trabajo.</li> </ul>	<p>En la vegetación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muerte de tejidos vegetales, alteraciones fisiológicas y deformaciones</li> <li>- Deterioro de las propiedades de la madera</li> <li>- Incremento de plagas y enfermedades</li> <li>- Cambios en la sucesión vegetal y entrada de vegetación invasora</li> <li>- Alteraciones y pérdidas en la regeneración natural</li> </ul>
<p>Disminución de fuentes de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por pérdida de interés en invertir</li> <li>- Menor precio madera quemada</li> <li>- Incremento costos de seguros y protección</li> </ul>	<p>En los recursos hídricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteraciones en las relaciones hídricas</li> <li>- Aumento de la escorrentía superficial</li> <li>- Contaminación de las aguas</li> <li>- Sedimentación</li> <li>- Disminución de la recarga de acuíferos</li> </ul>
<p>Pérdidas económicas directas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cultivos forestales,</li> <li>- Cosechas agrícolas, ganado, maquinaria e infraestructura</li> <li>- Asociada a actividades productivas</li> </ul>	<p>En el paisaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragmentación e incremento del efecto borde</li> <li>- Desertificación</li> </ul> <p>En la biodiversidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de hábitats y especies de flora y fauna silvestre</li> <li>- Migración de animales, aves e insectos</li> <li>- Rupturas en las cadenas alimentarias y alteraciones en las sucesiones ecológicas</li> </ul>

Fuente: Castillo, M; Pedernera, P y Peña, E (2003).

### 2.2.3. Efectos del fuego en el suelo

Los efectos del fuego en el suelo se ven directamente relacionados con la intensidad, frecuencia y duración de la exposición del suelo al calor. Un incendio de baja intensidad facilita el ciclo de algunos nutrientes ya que puede ayudar al control de patógenos de las plantas y no incrementa la erosión del suelo. Por otro lado, un incendio intenso volatiliza cantidades excesivas de nitrógeno y otros nutrientes esenciales, destruye la materia orgánica, altera la estructura del suelo y la pérdida de su potencial productivo (Flores, JG. 2009).

Los cambios que presenta el suelo en relación a la intensidad del incendio forestal, son entre muchos, un incremento en la temperatura y la evaporación, al mismo tiempo que disminuyen la absorción y retención de agua, la porosidad, la aireación y la capacidad de infiltración; produciendo en su mayoría una reducción de la disponibilidad de agua en el suelo y un aumento de la escorrentía superficial, generando así la erosión (Mataix-Solera y Guerrero 2007).

**Tabla 2.** Las alteraciones en el suelo según la temperatura.

Temperatura °C	Alteración
40-70	Degradación de proteínas y muerte de tejidos biológicos
48-54	Deshidratación de determinadas raíces o muerte
70-90	Muerte de determinadas semillas
50-121	Muerte de microorganismos edáficos
180-300	Destilación destructiva y combustión de alrededor del 85% del horizonte orgánico
200-250	Puede incrementarse la hidrofobicidad del suelo mineral
200-315	Comienza la destilación de la materia orgánica del suelo
270-300	Destrucción de la hidrofobicidad del suelo
200-400	Comienza la destilación de nutrientes (particularmente N)
>300	Los horizontes orgánicos superficiales del suelo son enteramente consumidos
420	Pérdidas de agua en los minerales de la fracción arcilla
450	Completo consumo de la materia orgánica
600	Máxima pérdida de fósforo y potasio, oxidación de enlaces metálicos
800	Oxidación de azufre
980	Cambios irreversibles en los minerales de la arcilla
1240	Volatilización del calcio

Fuente. Mataix-Solera y Guerrero (2007).

### 2.2.3.1. Propiedades químicas del suelo

#### - pH

De acuerdo a (Giovannini 1994) citado por (Afif, E y Oliveira, J. A. 2006), los cambios en el pH de un suelo afectado por un incendio forestal, se deben a la pérdida de grupos hidrófilos por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disolución de carbonatos. No obstante, es necesaria una temperatura superior a 450 °C para que este incremento sea notable.

Según Martínez *et al.* (1991), citado por Rosero J. y Osorio I. (2013), afirman que el valor del pH del suelo se incrementa debido a las cenizas procedentes del incendio, las cuales contienen gran cantidad de carbonato potásico ( $\text{CO}_3\text{K}_2$ ). Sin embargo, cuando los efectos del lavado y arrastre de cationes por las lluvias son muy intensos, a los incrementos iniciales de pH tras el fuego pueden seguir fuertes descensos que logran alcanzar valores inferiores a los registrados antes del incendio.

#### - Materia orgánica

El fuego produce destrucción de materia orgánica (MO); ésta se destila cuando se alcanzan temperaturas de 200 a 300° C, se carboniza a los 300-400° C y se consume por encima de los 450° C (Moscovich *et al* 2014). En función de la intensidad del fuego, la materia orgánica experimenta diferentes transformaciones cualitativas y cuantitativas con diferentes repercusiones ecológicas. El contenido de materia orgánica suele decrecer tras un incendio de alta intensidad si el fuego ha afectado directamente a los horizontes más superficiales de éste. Sin embargo, en incendios de baja intensidad, el contenido de materia orgánica del suelo se puede ver incrementado por el aporte de material vegetal (Samaniego, CA. 2013).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica del suelo (CE) nos indica la concentración de sales solubles. Al igual que el pH, ésta suele aumentar como consecuencia de la solubilización de compuestos procedentes de las cenizas. Cabe decir que estos iones liberados pueden suponer una mejora de la fertilidad en la mayoría de los casos, pero en otros, pueden producir problemas, en el sentido de que la absorción de algunos nutrientes puede ser inhibida por problemas antagónicos surgidos de la acumulación de elementos minerales. Con el paso del tiempo lo que se ha observado es que en un plazo relativamente corto (uno o dos años) la CE vuelve a los valores pre-incendio, o incluso presenta valores más bajos. Esto es debido posiblemente a la erosión posterior del suelo y las cenizas, el lavado de sales a través del perfil y también como consecuencia de la incorporación de nutrientes por parte de la vegetación que coloniza de nuevo el área afectada (Mataix-Solera *et al* 2009).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Knoepp *et al.*, (2005) y Gil *et al.* (2010), citado por Jordán *et al* (2013) indican que el fuego afecta directamente al suelo mediante la combustión de la materia orgánica y la alteración de los minerales de arcilla. La materia orgánica se perturba a temperaturas entre 100 y 500 °C, mientras que los minerales se alteran a temperaturas mucho más altas. Después del fuego, en general se aprecia un descenso de los valores de la capacidad de intercambio catiónico, especialmente en los primeros centímetros. Este descenso será más o menos importante dependiendo de la severidad del incendio, contenido previo de materia orgánica, y cantidad o naturaleza de los minerales de las arcillas. Los suelos arenosos por estas razones sufren una disminución notable de almacenamiento de iones.

- **Nitrógeno**

Según De Lillis (1993) citado por (Afif, E y Oliveira, J. A. 2006), el contenido de nitrógeno en los suelos quemados tiende a incrementar o disminuir, a lo largo del tiempo, según la abundancia de herbáceas perennes.

Raison (1979); Prieto-Fernández (1996); Guerrero *et al.* (2005); Giovannini *et al.*, (1988); Prieto-Fernández *et al.* (1993); Ahlgren y Ahlgren (1960); Prieto-Fernández (1996); Raison (1979) y Prieto-Fernández (1996) citado por Mataix-Solera *et al* (2009), afirman que el nitrógeno es uno de los elementos más afectados tras los incendios forestales. Los contenidos de N total suelen disminuir, de forma proporcional a las intensidades alcanzadas. De esta manera en fuegos de baja intensidad se han observado incrementos de N orgánico por la incorporación de materiales semipirolizados al suelo, aunque en incendios de elevada intensidad lo más frecuente es observar pérdidas. Lo que sí parece ser un hecho generalizado es el incremento de N inorgánico. Tanto el amonio como el nitrato son susceptibles de ser volatilizados a temperaturas cercanas a los 200°C, pero es a esta temperatura cuando ya se han iniciado los procesos de descomposición (mineralización físico-química por combustión) de compuestos orgánicos (de la vegetación, de la materia orgánica del suelo, de los microorganismos, etc.) y la liberación desde complejos minerales del suelo. Por tanto, no es extraño encontrar aumentos de N inorgánico por la gran cantidad de nitrógeno que es susceptible de ser mineralizado por efecto del fuego.

- **Fósforo**

Raison (1979) y Mataix-Solera (1999) citado por afectada Mataix-Solera *et al* (2009) indican que el incremento inicial del fósforo disponible procedente del aporte de las cenizas, así como la mineralización del fósforo desde formas orgánicas en el caso de incendios severos.

- **Potasio**

(Mengel y Kirkby, 1987). Citado por (INTAGRI 2017) refiere que el potasio (K<sup>+</sup>) es un macronutriente esencial para las plantas, las cuales necesitan cantidades elevadas de este nutriente, incluso semejantes a las necesidades del nitrógeno en algunos casos. Cumple un papel importante en la activación de más de 60 enzimas que actúan en diferentes procesos metabólicos, dentro de los más importantes están la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos.

### 2.2.3.2. **Propiedades físicas del suelo**

- **Color**

Los cambios en el color del suelo son los más apreciables inmediatamente y pueden deberse a la acumulación de cenizas, mostrando una gama de color de negro a blanco según la severidad del fuego. Al mostrar un enrojecimiento se debe por la alteración de los óxidos de hierro o desaparición de la materia orgánica, este enrojecimiento se incrementa entre los 300 a 500 °C por la transformación de óxido de hierro en magnetita y hematita. Los suelos ricos en hierro se tornan amarillo y su brillo e intensidad disminuyen luego de una breve exposición a temperaturas de 300 a 600 °C y el enrojecimiento aparece después de 45 minutos a una temperatura de 600 °C. Por estas razones, los cambios en el color del suelo pueden ser utilizado como indicador de la severidad del incendio afirman (Terefe et al. 2008; Ketterings y Bigham, 2000) citado por (Pascual, A.J. 2011).

- **Textura**

(Ulery y Graham, 1993; Dyrness y Youngberg, 1957; Nisita y Haug, 1972; Betremieux et al., 1960; Giovannini et al., 1990; González et al., 1992; Iglesias, 1993; Llovet et al., 1994.) citados por (Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2007) señalan que los incendios de alta intensidad son capaces de provocar fusiones térmicas de partículas de tamaño arcilla, incrementándose porcentualmente el tamaño limo y arena. Ello puede ocurrir por modificaciones térmicas de

aluminosilicatos y óxidos e hidróxidos de hierro. Los minerales de la fracción arcilla pueden modificarse por la acción del fuego alterándose sus estructuras. Existen estudios en diferentes suelos afectados por el fuego, sobre la influencia que la temperatura ejerce en las estructuras de minerales laminares, observándose ciertas modificaciones en algunos minerales existentes en horizontes superficiales, y que son susceptibles de alteración, como caolinita y vermiculitas. Otro factor que puede ser causante de la modificación de la textura hacia el incremento porcentual de gruesos es que al incrementarse las tasas de erosión es más probable la pérdida de finos con el tiempo, y por tanto un incremento porcentual de los gruesos.

Los componentes minerales de las distintas fracciones texturales no suelen ser afectadas por el fuego a menos que se ha sometidos a grandes temperaturas. La arcilla es la fracción textural más sensible ya que el suelo al alcanzar temperaturas cercanas a 400 °C disminuye su hidratación y su escritura cristalina colapsa; la destrucción completa de la estructura de las arcillas se da a temperaturas entre los 700 y 800 °C. Con respecto la fracción de arena y limo, al ser formados generalmente por cuarzo, su temperatura de fusión se encuentra alrededor de los 1 400 °C (Pascual, A.J. 2011).

- **Densidad aparente:**

La densidad aparente está relacionada con la porosidad del suelo, por lo que un aumento en la densidad aparente se debe a una disminución del espacio poroso. Las altas temperaturas que actúan durante un incendio destruyen la estructura del suelo, afectando a la porosidad y la distribución de tamaño de poros en los horizontes superficiales; por lo tanto, el colapso de los agregados órgano-minerales y la obstrucción de los poros del suelo por la ceniza o los minerales de arcilla liberados ocasionan un aumento en la densidad aparente mencionan (DeBano et al. 1998; Durgin y Vogelsang, 1948; Giovannini et al. 1988) citado por (Pascual, A.J. 2011).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Ambiente del incendio:** se trata de un gran incendio forestal creado por una burbuja de condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa ambiental y velocidad de viento) propias (Ruiz, J. 2015).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.):** mide la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas. Además, como la retención se hace superficialmente obedeciendo a deferencias de carga electrostática, los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros de la solución del suelo, convirtiéndose en cationes intercambiables, necesarios en los procesos de nutrición de la planta. Los cationes más importantes son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$  (las bases del suelo) y  $\text{NH}_4^{+}$  (Jaramillo, D.J. 2002).
- **Carbonatos:** los carbonatos en los suelos son residuos del material parental o el resultado de la neo-formación (carbonatos secundarios), se concentran principalmente en forma de cal polvorienta suave, barnices o revestimientos en los agregados (FAO 2009).
- **Color:** es una característica del suelo, las principales sustancias que otorgan al suelo su color son el humus, compuestos minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos. Los colores claros, es decir, el blanco el blancuzco, son debidos a la abundancia de minerales blancos o incoloros (Rucks et al 2004).
- **Densidad:** es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo. En este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad. la disponibilidad de agua y de oxígeno (Ramírez, R. 1997).

- **Estructura:** es la responsable de las relaciones de aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Se caracteriza por la estabilidad estructural. Es decir, la resistencia que los agregados del suelo hacen para no ser destruidos (Ramírez, R. 1997).
  
- **Fósforo:** es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas ya que sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente. (Munera, G. y Meza, D. 2016).
  
- **Humedad del suelo:** es la cantidad de agua que posea el suelo y está determinada, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, DJ. 2002).
  
- **Incendio agrícola:** Es un incendio agrícola el fuego que se propaga sin control por un terreno dedicado al cultivo agrícola (Ruiz, J. 2015).
  
- **Incendio de vegetación en suelo urbano:** Son los incendios de cualquier tipo de combustible vegetal en suelo urbano sin influencia forestal (Ruiz, J. 2015).
  
- **Incendio forestal:** Es un fuego que se da en bosques naturales o plantados, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza y que avanza sin ningún control, ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales (SERNANP 2016).
  
- **La conductividad eléctrica (CE):** mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueva dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales (INTAGRI 2017).

- **Nitrógeno:** es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio  $\text{NH}_4^+$  o aniónica de nitrato  $\text{NO}_3^-$  (FAO 2019).
- **pH:** establece el grado de acidez o de alcalinidad que el suelo presenta (Jaramillo, DJ. 2002).
- **Porosidad:** La porosidad total del suelo es el volumen de éste que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases (Jaramillo, DJ 2002).
- **Suelo:** es la capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas (INIA 2015).
- **Textura:** representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla (Rucks et al 2004).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del estudio

El presente estudio se desarrolló en la plantación de *Eucalyptus globulus Labill* de la ex-hacienda de Huacraruco, hoy conocida como la cooperativa SAIS José Carlos Mariátegui, ubicada en la localidad de Huacraruco, distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca. Cuya área es de 48.52 ha, las coordenadas centrales del área de estudio son 780819.464 E, 9192210.02 N, con una altitud mínima de 2650 m y altitud máxima de 3050 m.

#### Vías de acceso:

Para llegar al área de estudio se accede por la vía Cajamarca - San Juan, estando en San Juan, se toma un desvío con dirección sur – este hacia la ex-hacienda de Huacraruco. De allí se camina aproximadamente una hora hasta las plantaciones de *Eucalyptus globulus Labill*.

**Tabla 3.** Vías de acceso al área de estudio

De	A	Estado de Vía	Distancia (Km)	Tiempo estimado
<b>Cajamarca</b>	San Juan	Asfaltada	59	1 Hora 20 Min*
<b>San Juan</b>	Hacienda Huacraruco	Trocha carrozable	35	1 Hora*
<b>Hacienda Huacraruco</b>	Plantaciones <i>Eucalyptus globulus Labill</i>	Camino Herradura	10	40 min**

\* Tiempo estimado en auto

\*\* Tiempo estimado a pie

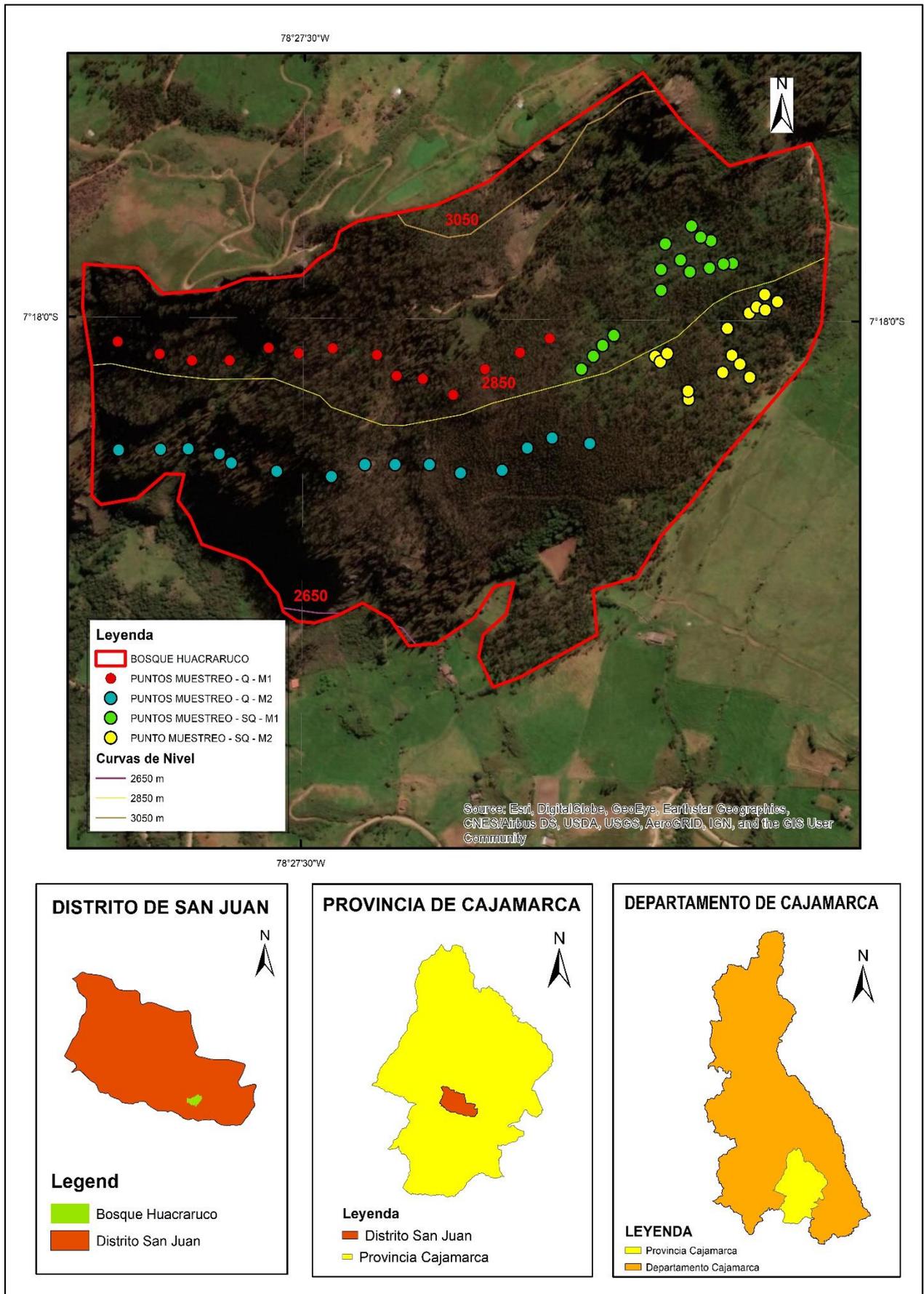


Figura 1. Ubicación del área de estudio

## **3.2. Materiales y métodos**

### **3.2.1. Material de estudio**

El material de estudio utilizado en el presente trabajo de investigación, es el suelo de la plantación de *Eucalyptus globulus Labill* donde se ha suscitado el incendio forestal, el cual ocurrió el 08 de septiembre del año 2018.

### **3.2.2. Material de campo**

- Fichas de registro de campo
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- GPS para la identificación inicial del punto de monitoreo
- Cámara fotográfica
- Rafia y estacas
- Bolsas y etiquetas para muestras
- Herramientas de campos (pico y palana)
- Wincha

### **3.2.3. Material y equipo de laboratorio**

- Equipos de análisis de suelo
- Reactivos

### **3.2.4. Material y equipo de gabinete**

- Laptop
- Impresora
- Papel A4
- Sobres manila
- Fichas de resultados de laboratorio

### 3.3. Metodología

El trabajo de campo contó con las siguientes actividades, las cuales han sido elaboradas de acuerdo a proyectos de investigación referidos a los efectos de los incendios forestales en el suelo, tales como el de Alva, D. y Manosalva H. (2019). Así mismo, la FAO (2009), en la guía para la descripción del suelo, recomienda utilizar un perfil o calicata recién excavado para describir la morfología y características del suelo.

#### 3.3.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo se inició con la preparación de materiales y equipos de campo. Asimismo, tomo en cuenta las facilidades de transporte y logística para el desarrollo del proyecto de investigación.

- **Estudio general de la zona:** esta actividad se desarrolló a través de mapas cartográficos.
- **Estudio general del suelo:** se realizó a través de 2 calicatas (1 en el suelo quemado y 1 en el suelo sin quemar) y haciendo uso de ficha de campo se determinó la fisiografía, relieve, elevación, permeabilidad, humedad, color y textura del suelo. De acuerdo a la geología del lugar las calicatas tuvieron las siguientes medidas.
  - Ancho: 0.9 m
  - Largo: 1.5 m
  - Profundidad: 1.5 m
- **Toma de muestras:** se ejecutó a dos profundidades (0 – 10 cm y 10 – 20 cm). El área quemada y el área sin quemar se dividió en dos sub áreas cada una, en cada una de las sub áreas se tomó 15 sub muestras para las dos profundidades. Una vez tomada las 15 sub muestras se homogenizaron y se obtuvo una muestra compuesta por sub-área; la muestra compuesta se separó en cuatro partes y se extrajo la muestra que fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

- **Etiquetado y traslado de las muestras.** En total se obtuvieron 12 muestras, de las cuales 8 fueron etiquetadas y remitidas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la determinación de la caracterización de suelo y nitrógeno total y los 4 restantes fueron etiquetadas y remitidas al laboratorio de suelo de la Universidad nacional de Cajamarca para el análisis de la densidad aparente.

El etiquetado de las muestras que se llevaron al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina se describen a continuación:

- **Q – M1 – P1:** Muestra 1 del suelo quemado a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **Q – M2 – P1:** Muestra 2 del suelo quemado a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **Q – M1 – P2:** Muestra 1 del suelo quemado a una profundidad de 10 – 20 cm.
- **Q – M2 – P2:** Muestra 2 del suelo quemado a una profundidad de 10 – 20 cm.
- **SQ – M1 – P1:** Muestra 1 del suelo sin quemar a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **SQ – M2 – P1:** Muestra 2 del suelo sin quemar a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **SQ – M1 – P2:** Muestra 1 del suelo sin quemar a una profundidad de 10 – 20 cm.
- **SQ – M2 – P2:** Muestra 2 del suelo sin quemar a una profundidad de 10 – 20 cm.

El etiquetado de las muestras que se llevaron al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca se describen a continuación:

- **Q – P1:** Muestra 1 del suelo quemado a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **Q – P2:** Muestra 1 del suelo quemado a una profundidad de 10 – 20 cm.
- **SQ – P1:** Muestra 1 del suelo sin quemar a una profundidad de 0 – 10 cm.
- **SQ – P2:** Muestra 1 del suelo sin quemar a una profundidad de 10 – 20 cm.

### **3.3.2. Trabajo de laboratorio**

En el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca se utilizó el método de la parafina (Eredia, E. 2015), para la determinación de la densidad aparente del suelo en el área quemada y en el área sin quemar.

En el laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina se realizó el análisis de la textura y las propiedades químicas del suelo. Para dichos análisis se utilizaron los siguientes métodos.

**Tabla 4.** Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	
Textura	Método del hidrómetro.	
pH	Método potenciométrico de la suspensión suelo: agua relación 1:1.	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % M.O. = % Cx1.124.	
Conductividad eléctrica	Medida de la conductividad eléctrica del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1.	
Carbonatos	Método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.	
Fósforo disponible	Método del Olsen modificado, extracción con NaHCO <sub>3</sub> , 0.5M; pH = 8.5.	
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio (CH <sub>3</sub> – COONH <sub>4</sub> )N; pH 7.0.	
Capacidad de intercambio catiónico	Saturación con acetato de amonio (CH <sub>3</sub> – COOCH <sub>4</sub> )N; pH 7.0.	
Cationes Cambiables	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	Reemplazamiento con acetato de amonio (CH <sub>3</sub> – COOCH <sub>4</sub> )N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	Método de Yuan. Extracción con KCl, N.
Nitrógeno total	Método del micro-Kjeldahl.	

### 3.3.3. Trabajo de gabinete

Para el desarrollo de los objetivos y análisis estadístico de la presente investigación se utilizó las fichas de campo, resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y los siguientes softwares.

- **Excel:** es el programa de hojas de cálculo utilizado en el análisis y visualización de datos. Se utilizó este programa para realizar los análisis comparativos de las propiedades físicas y químicas del suelo quemado y sin quemar.
- **ArcGis:** es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (se utilizó para la elaboración del mapa de ubicación del área de estudio).

- **Minitab 18:** es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. se hizo uso de este software para el análisis estadístico de la investigación, mismo que se desarrolló a través de un análisis de varianza de un diseño factorial de  $2^2$  y la prueba de rango múltiple de Duncan.

### **Prueba del Rango Múltiple de Duncan**

La Prueba del Rango múltiple Duncan es una prueba para determinar la diferencia entre pares de medias después que se ha rechazado la hipótesis nula en el análisis de varianza.

### **Diseño factorial $2^2$ .**

Un diseño factorial es un tipo de diseñado experimental que permite estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una respuesta. Al realizar un experimento, variar los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez, permite estudiar las interacciones entre los factores (Gonzales, Y. 2015).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Estudio general de la zona y suelo del área de estudio

De acuerdo a la cartografía de la zona y a la lectura de las calitas (H-01 y H-02) realizadas en el área de estudio, se determinó que la plantación *Eucalyptus globulus Labill* posee relieve empinado con una pendiente de 45 % - 55 %, así mismo, el suelo presenta un buen drenaje y permeabilidad y escurrimiento superficial rápido.

En relación al área del suelo sin quemar, podemos determinar que la vegetación predominate es Eucaliptos (*Eucalyptus globulus Labill*), zarzamora (*Rubus ulmifolius*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y pie de perro (*Desmodium molliculum*). De acuerdo a los datos obtenidos en la calicata H – 02, el suelo presentó 3 horizontes marcados: horizonte A1, con una profundidad de 0 – 30 cm, en el cual se nota un abundante desarrollo de raíces finas y gruesas, y cuantiosa actividad microbiana, con presencia de ciempiés (*Chilopoda*) pequeños. Horizonte BT2<sub>1</sub>, con una profundidad de 30 a 90 cm, al igual que el horizonte A1, este horizonte presenta desarrollo de raíces finas y gruesas y actividad microbiana, así mismo, se puede observar piedras grandes. Por ultimo tenemos el horizonte BT2<sub>2</sub> con una profundidad de 90 cm a más, este horizonte posee un escaso desarrollo de raíces finas, escasa presencia de piedras y poca actividad microbiana.

Con respecto al área del suelo quemado, la vegetación predominate es Eucaliptos (*Eucalyptus globulus Labill*), nudillo (*Polygonum aviculare*) y helechos (*Tracheophyta*). De acuerdo a los datos obtenidos en la calicata H – 01, el suelo presento 4 horizontes marcados: horizonte A1, con una profundidad de 0 – 50 cm, en el cual se nota un abundante desarrollo de raíces finas y gruesas, y cuantiosa actividad biológica y presencia de piedras grandes. Horizonte BC, con una profundidad de 50 a 75 cm, es un horizonte

transicional, con abundante desarrollo de raíces, presencia de piedras grandes y mediana actividad biológica. Horizonte C<sub>11</sub>, con una profundidad de 75 a 105 cm, se puede observar un escaso desarrollo de raíces finas, presencia de piedras grandes y escasa actividad biológica. Por último tenemos el horizonte C<sub>12</sub>, con una profundidad de 105 cm a más, este horizonte se observa piedras grandes, pero no hay presencia de raíces y la actividad microbiana es nula.

Los ligeros cambios que presenta el área del suelo quemado y el área del suelo sin quemar, se debe a la influencia del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo.

#### **4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo quemado y el suelo sin quemar**

En la tabla 5 se presenta el valor promedio de las propiedades físicas y químicas del suelo quemado y el suelo sin quemar de la plantación de *Eucalyptus globulus* Labill, especificando las profundidades en las que ha sido tomadas las muestras. Los valores promedios han sido obtenidos a partir de los resultados emitidos por el laboratorio de suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina y por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

**Tabla 5.** Propiedades físicas y químicas del suelo quemado y el suelo sin quemar del bosque de Huacraruco

PROPIEDAD	UNIDAD	PROFUNDIDAD	SUELO		
			Quemado	Sin Quemar	
Densidad aparente*	g cm <sup>-3</sup>	0 - 10 cm	1.52	1.39	
		10 - 20 cm	1.41	1.27	
Color**	Unidad	0 - 10 cm	10 YR 3/1	10 YR 3/1	
		10 - 20 cm	10 YR 3/1	10 YR 3/1	
pH	Unidad	0 - 10 cm	5.33	5.47	
		10 - 20 cm	4.38	5.16	
C.E.	dS/m	0 - 10 cm	0.21	0.22	
		10 - 20 cm	0.12	0.11	
CaCO <sub>3</sub>	%	0 - 10 cm	0.00	0.00	
		10 - 20 cm	0.00	0.00	
M.O.	%	0 - 10 cm	10.83	9.50	
		10 - 20 cm	5.24	4.46	
P	ppm	0 - 10 cm	9.55	7.90	
		10 - 20 cm	6.70	7.85	
K	ppm	0 - 10 cm	331.50	262.00	
		10 - 20 cm	246.00	193.50	
Análisis Mecánico	Arena	%	0 - 10 cm	49.00	48.00
			10 - 20 cm	41.00	39.00
	Limo	%	0 - 10 cm	31.00	31.00
			10 - 20 cm	30.00	33.00
	Arcilla	%	0 - 10 cm	20.00	21.00
			10 - 20 cm	29.00	28.00
Clase Textural	-	0 - 10 cm	Fr	Fr	
		10 - 20 cm	Fr. Ar	Fr. Ar	
C.I.C.	meq/100 g	0 - 10 cm	25.60	20.56	
		10 - 20 cm	21.25	17.84	
Cationes Intercambiables	Ca <sup>+2</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	13.25	12.25
			10 - 20 cm	3.68	7.27
	Mg <sup>+2</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	2.09	1.61
			10 - 20 cm	0.95	0.94
	K <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.89	0.77
			10 - 20 cm	0.70	0.57
	Na <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.21	0.19
			10 - 20 cm	0.18	0.17
	AL <sup>+3</sup> H <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.10	0.10
			10 - 20 cm	1.75	0.20
Suma de Cationes	-	0 - 10 cm	16.52	14.87	
		10 - 20 cm	7.27	9.13	
Suma de Bases	meq/100 g	0 - 10 cm	16.42	14.77	
		10 - 20 cm	5.52	8.93	
Saturación de bases	%	0 - 10 cm	64.00	72.00	
		10 - 20 cm	26.00	50.00	
N	%	0 - 10 cm	0.47	0.35	
		10 - 20 cm	0.27	0.23	

**Fuente:** Reporte del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

\*Datos obtenidos en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

\*\* Datos Obtenidos en las calicatas realizadas en campo.

### 4.3. Análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo quemado y sin quemar

#### 4.3.1. Color

De acuerdo a las calicatas elaboradas en campo podemos indicar que el color húmedo del suelo quemado y el suelo sin quemar, presenta un valor de 10 YR 3/1 para las dos profundidades, este valor representa el color Gris muy oscuro (Very Dark Gray en inglés) de acuerdo a la tabla Munsell.

Por lo que podemos decir que el incendio forestal no afecto a esta propiedad del suelo; sin embargo, Alva, D. y Manosalva H. (2019) en su investigación determinaron que el incendio forestal genero cambios en color del suelo en los primeros 10 cm, pasando de un color más claro en el área sin quemar a un color oscuro en el área quemada.

#### 4.3.2. Densidad aparente

Haciendo el análisis comparativo a nivel de profundidad, como se muestra en la figura 2, la densidad aparente en el suelo quemado en la profundidad de 0 – 10 cm se incrementa en un  $0.23 \text{ g cm}^{-3}$  en relación al suelo sin quemar. Lo mismo ocurren en la profundidad de 10 – 20 cm, la densidad aparente en el suelo quemado se incrementarse en  $0.17 \text{ g cm}^{-3}$  con respecto al suelo sin quemar.

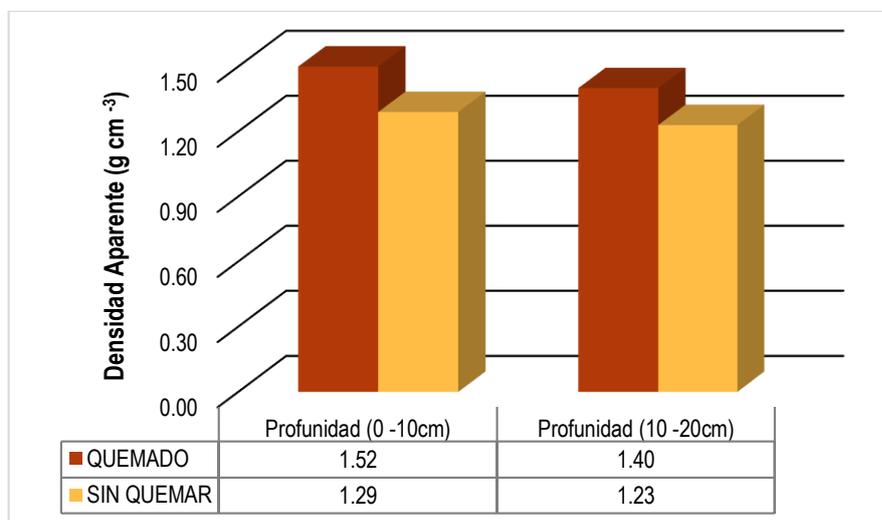


Figura 2. Comparación de la densidad aparente entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Como se muestra en la tabla 5, comparando el suelo quemado y el sin quemar de manera general, obtenemos que la densidad aparente del suelo quemado se incrementa en  $0.40 \text{ g cm}^{-3}$ . El aumento de la densidad aparente del suelo después de un incendio forestal, como mencionan (Boerner, et al., 2009; Certini, 2005; Cerdà y Doerr, 2008), citado por Satyam, S.J. (2012); es debido al colapso de los agregados y la obstrucción de los vacíos por la ceniza, como consecuencia, la porosidad y la permeabilidad del suelo disminuyen.

### 4.3.3. pH

En el análisis comparativo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad se observa que el pH del suelo quemado en la profundidad de 0 – 10 cm tiende a disminuir en 0.14 unidades con respecto al suelo sin quemar. En relación a la profundidad de 10 – 20 cm el pH en el suelo quemado disminuye en 0.78 unidades en proporción al suelo sin quemar, estos valores se describen en la tabla 1 – anexos.

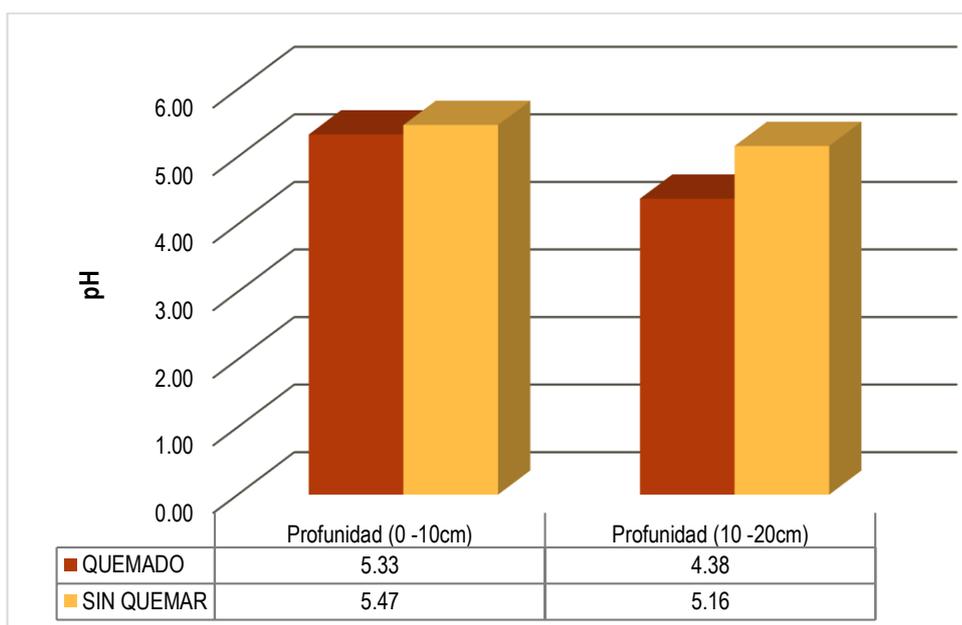


Figura 3. Comparación del pH entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

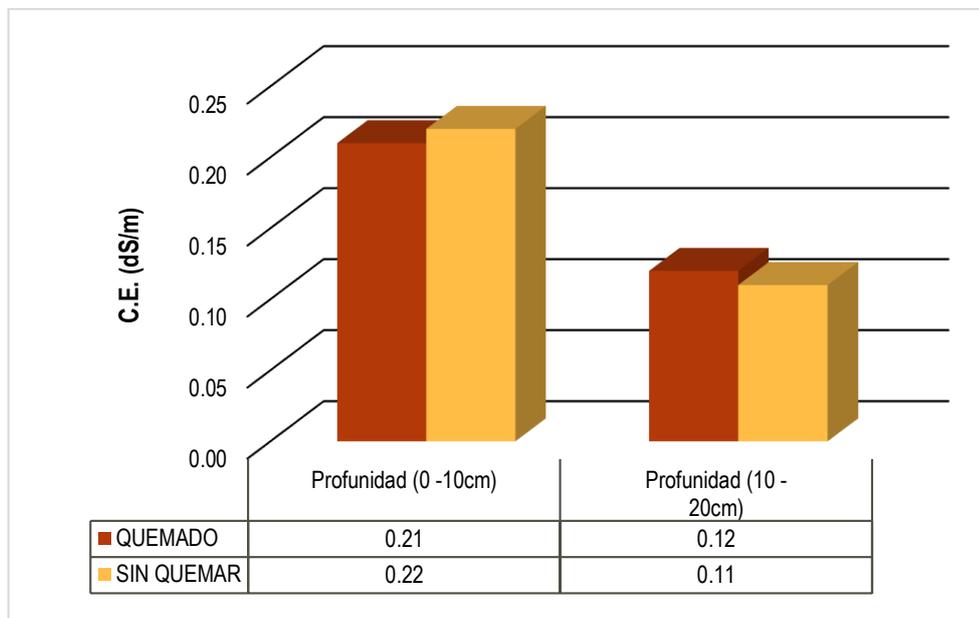
Con respecto al análisis comparativo del suelo quemado y del suelo sin quemar, decimos que el incendio forestal de Huacraruco ha ocasionado que el pH del suelo quemado disminuye en un 0.92 unidades en relación al suelo sin quemar. Estos datos coinciden con los datos encontrados por Alva, D. y Manosalva H. (2019), quienes presentan que

el pH del suelo disminuyo en relación al suelo sin quemar, como se muestra en sus resultados, en el suelo sin quemar el pH fue de 7.66, en el suelo parcialmente quemado 7.39 y el suelo totalmente quemado 7.49.

Estos cambios, como mencionan Bodi et al. (2014) y Pereira et al (2010) citado por Montorio et al. (2015) la incorporación de las cenizas producido por la quema de vegetación aumenta el pH debido a que estas contienen óxidos, hidróxidos y carbonatos. Sin embargo, por acción de la lluvia estos valores tienden a disminuir ya que los cationes que conforman la ceniza son disueltos.

#### 4.3.4. Conductividad eléctrica (C.E.)

Al observar la tabla 5, podemos observar que la conductividad eléctrica del suelo quemado no varía en relación al suelo sin quemar ya que ambos suelos presentan un valor de 0.33 dS/m. Sin embargo, al realizar la comparación a nivel de profundidad del suelo quemado y el suelo sin quemar como se muestran en la figura 4, se observa que en la profundidad de 0 – 10 cm, la C.E. el suelo quemado decrecen en un 0.01 dS/m y en la profundidad de 10 – 20 cm esta presenta un incremento de 0.01 dS/m en el suelo quemado.



**Figura 4.** Comparación de la conductividad eléctrica (C.E.) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

La conductividad eléctrica (CE) del suelo nos indica la concentración de sales solubles. Al igual que el pH, ésta suele aumentar como consecuencia de la solubilización de compuestos procedentes de las cenizas, pero estos valores pueden retornar a los valores presentados antes del incendio e incluso presenta valores más bajos luego de 12 a 24 meses (Mataix-Solera *et al* 2009). Como el análisis se realizó a los 8 meses del incendio se puede decir que los valores de C.E. han regresado a sus valores originales, debido al lavado de sales a través del perfil y también como consecuencia de la incorporación de nutrientes por parte de la vegetación que coloniza de nuevo el área afectada (Mataix-Solera *et al* 2009).

#### 4.3.5. Materia orgánica (M.O.)

Observando los resultados de la tabla 5 y la figura 5; se realizó el análisis comparativo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad, en donde se observa un incremento de 1.33 % de M.O. en la profundidad de 0 – 10 cm y 0.78 % de M.O, en la profundidad 10 – 20 cm en el suelo quemado, cuyos valores se muestran en la tabla 1 – anexos.

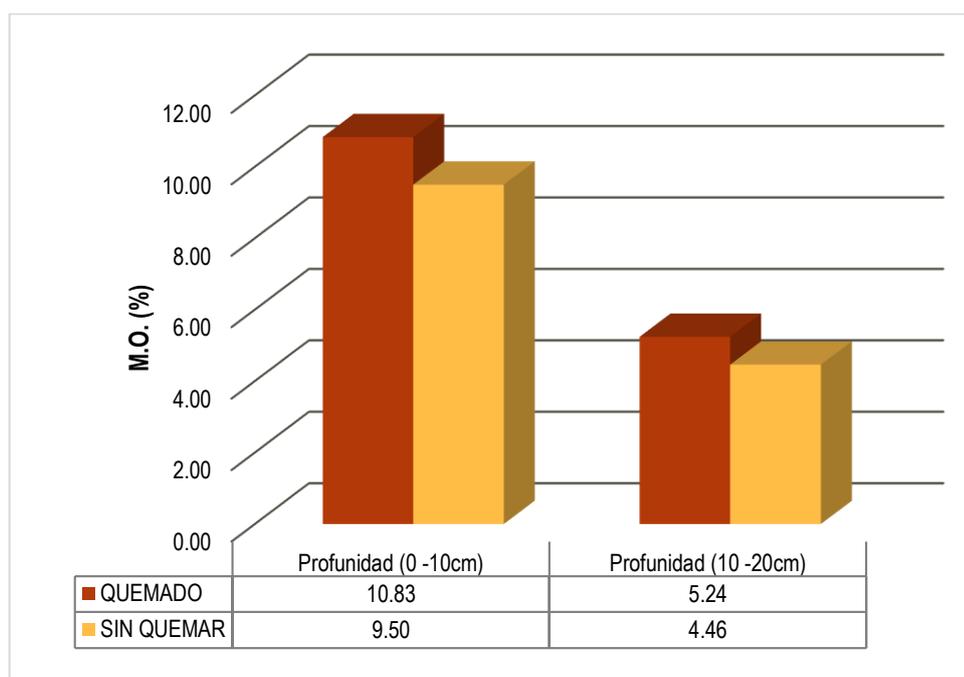


Figura 5. Comparación de la materia orgánica (M.O.) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Así mismo, en el análisis general del suelo quemado y el suelo sin quemar el incendio forestal de Huacraruco ha ocasionado un efecto positivo en el suelo quemado, ya que este presenta un incremento del 2.11 % de materia orgánica. Y como menciona Samaniego, CA. (2013), los cambios en cantidad de materia orgánica de un suelo forestal que ha sido afectado por un incendio varía de acuerdo a la intensidad, en incendio de baja intensidad el porcentaje de materia orgánica del suelo tiende a incrementar por la incorporación de material vegetal. Por lo tanto, el incendio forestal de Huacraruco, sea categorizado como un incendio de baja intensidad ya que el suelo quemado presenta un incremento de materia orgánica en relación al suelo sin quemar.

#### 4.3.6. Nitrógeno total

Con relación a los datos presentados en la figura 6 se realizó el análisis comparativo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar de acuerdo a las profundidades estudiadas, en donde se determinó que en la profundidad de 0 – 10 cm el nitrógeno total del suelo quemado tiene un incremento del 0.12 % en el suelo quemado; lo mismo que ocurre en la profundidad de 10 – 20 cm, la cual presenta un incremento del 0.04 % en el mismo suelo.

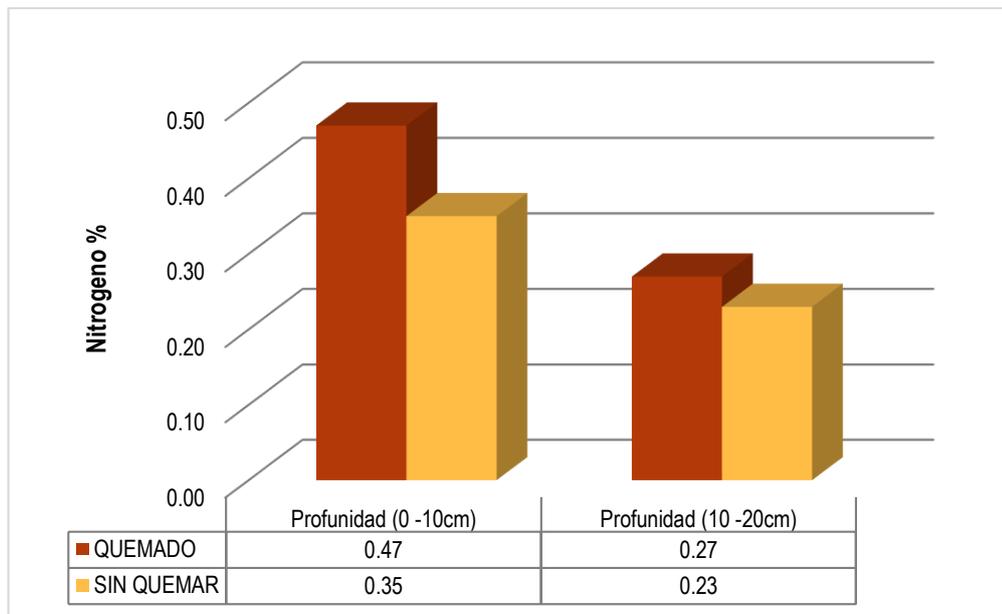


Figura 6. Comparación de nitrógeno total entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

De acuerdo a los valores observados en la tabla 5, el suelo quemado presenta un incremento de 0.16 % de nitrógeno total en comparación al suelo sin quemar, por lo que se dice que el incendio forestal de Huacraruco genero un efecto Positivo en el suelo quemado. Así mismo, como menciona Mataix-Solera *et al* (2009), el nitrógeno es uno de los elementos más afectados tras los incendios forestales y estos tienden a cambiar de forma proporcional a las intensidades alcanzadas en el incendio forestal. De esta manera en fuegos de baja intensidad se han observado incrementos de N orgánico por la incorporación de materiales semipirolizados al suelo.

#### **4.3.7. Carbonatos (CaCO<sub>3</sub>)**

Como se muestra en la tabla 5, en la plantación de *Eucalyptus globulus Labill* en el área quemada y en el área sin quemar en ambas profundidades no se han encontrado la presencia de carbonatos de calcio (CaCO<sub>3</sub>), esto se debe a que el suelo presenta un pH ácido.

#### **4.3.8. Fósforo disponible (P)**

Como se muestran en la figura 7, en el análisis comparativo a nivel de profundidad entre el suelo quemado y el suelo sin quemar; podemos observar que en el caso de la profundidad de 0 -10 cm hay un incremento de 1.65 ppm de fósforo en el suelo quemado, esto posiblemente se deba a la incorporación de las cenizas (Mataix-Solera *et al.*, 2009) y una disminución de 1.15 ppm en la profundidad de 10 – 20 cm, probablemente debido a que las cenizas se depositan en los primeros centímetros del suelo.

Los datos encontrados en la profundidad de 0 a 10 cm, coinciden con los obtenidos por Cáceres, JA (2018), en donde en muestra que en la profundidad de 0 a 5 cm el suelo quemado se incrementa en 0.433 ppm y 0.65 ppm en la profundidad de 5 a 10 cm.

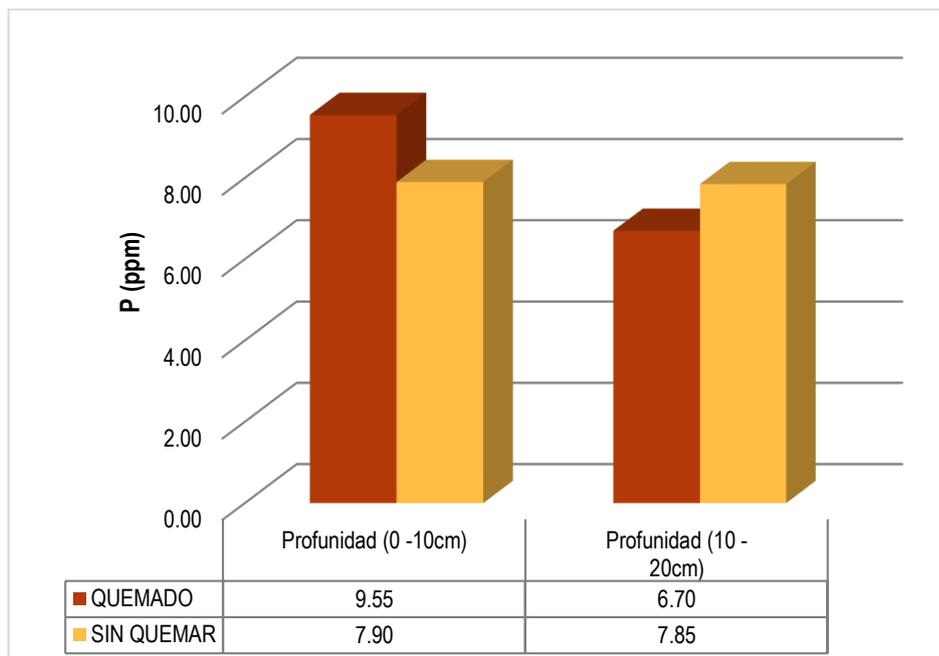
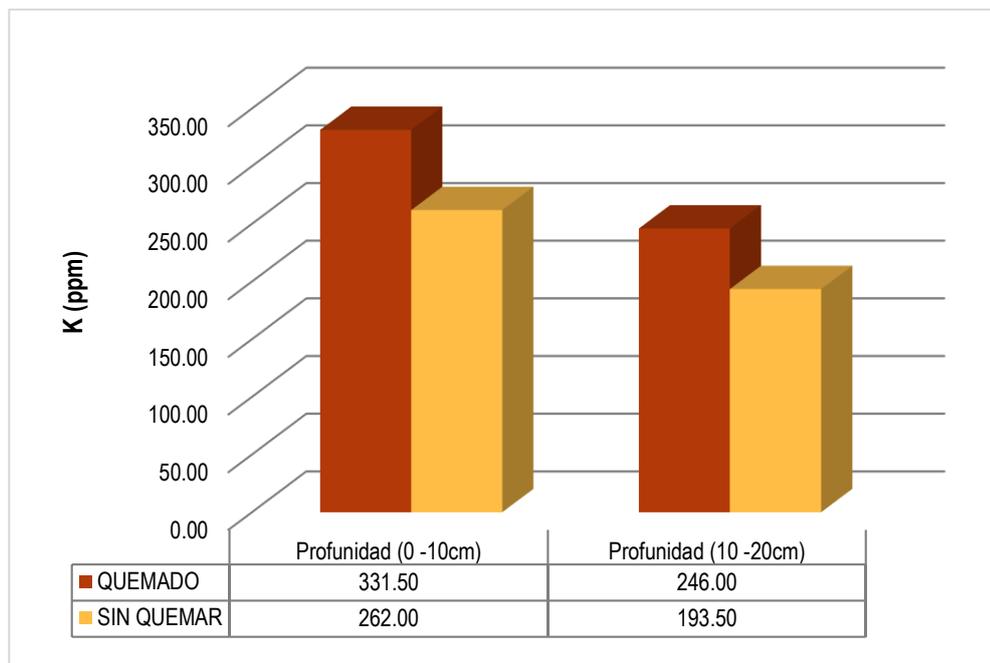


Figura 7. Comparación del fósforo (P) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Por el contrario, en la comparación general del suelo quemado y del suelo sin quemar, se obtiene que el incendio forestal de Huacraruco, el fosforo disponible incrementó en un 0.5 ppm generando de esta manera un efecto positivo en el suelo quemado.

#### 4.3.9. Potasio disponible (K)

Con relación al potasio disponible (K), como se puede observar en la figura, en el análisis comparativo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar, observamos que hay un incremento del potasio en ambas profundidades, para la profundidad de 0 – 10 cm el potasio incrementa en 69.5 ppm y 52.5 ppm en la profundidad de 10 – 20 cm en el suelo quemado.

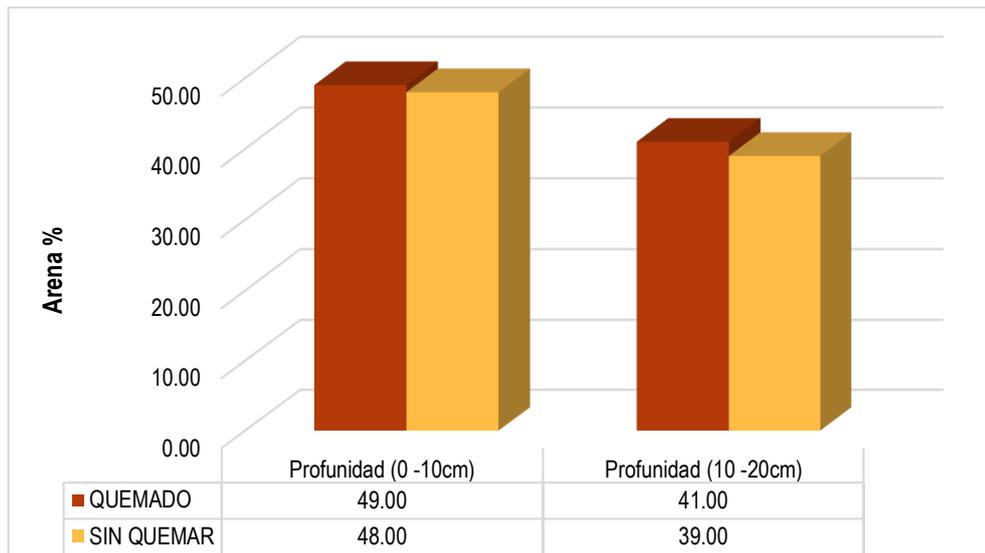


**Figura 8.** Comparación del potasio disponible (K) entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Así mismo, como se muestra en la tabla 5, el suelo quemado presenta un incremento de 122 ppm de potasio disponible en el suelo quemado. El incremento que presenta esta propiedad se debe al aumento de la ceniza proveniente de la quema de la vegetación, como mencionan Valdés et al., 2016 y Úbeda, (2001) citado por Alva, D. y Manosalva H. (2019). El aumento en la concentración de potasio se atribuye principalmente a la incorporación de ceniza al suelo; sin embargo, si la temperatura del incendio forestal alcanza los 500 °C hay volatilización.

#### 4.3.10. Arena

Comparando los porcentajes de arena entre el suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad, distinguimos un leve incremento de 1.00 % en el suelo quemado en la profundidad de 0 – 10 cm; así mismo, en la profundidad de 10 -20 cm en el suelo quemado presenta un aumento de 2.00 % en relación al suelo sin quemar.

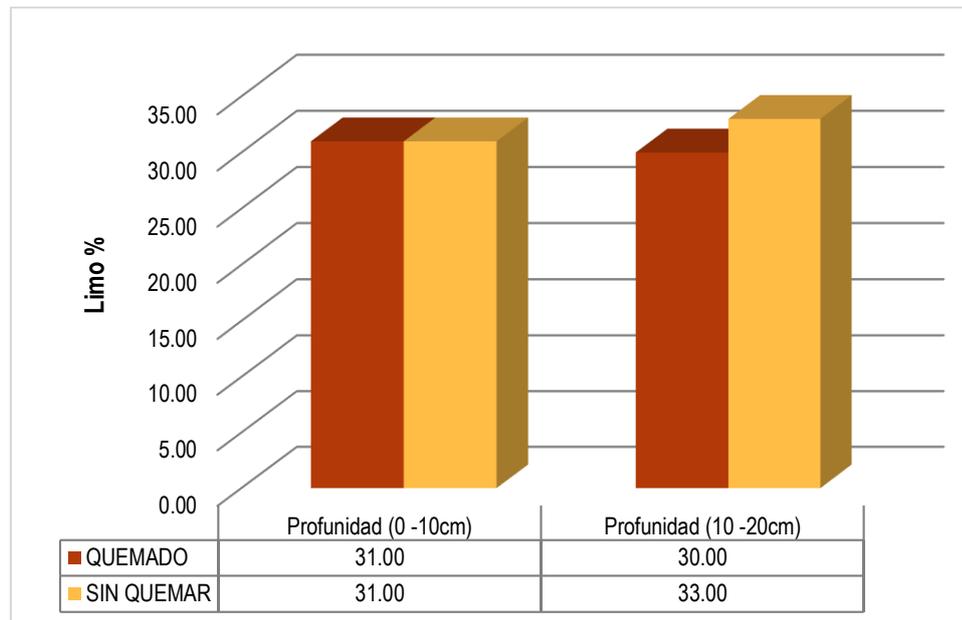


**Figura 9.** Comparación del análisis mecánico de la arena entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Así mismo, al realizar la comparación general del suelo quemado y del suelo sin quemar, las fracciones de arena del suelo quemado se incrementan en un 1.50 % en relación al suelo sin quemar. Estas variaciones de los valores de arena del suelo quemado en relación al suelo sin quemar son mínimas; por lo tanto, el incendio forestal no afecto a la fracción de arena del suelo y este cambio puede deberse a la variabilidad del suelo.

#### 4.3.11. Limo

Realizando un análisis comparativo de los porcentajes de limo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad, notamos que en la profundidad de 0 – 10 cm el porcentaje de limo se mantiene en 31 % para ambos suelos; en cambio en la profundidad de 10 – 20 cm se observa un descenso de 3.00 % en el suelo quemado. Así mismo, realizando el análisis general del suelo quemado y del suelo sin quemar, observamos que el incendio forestal ha ocasionado un descenso del 3 % en las fracciones de limo en el suelo quemado.



**Figura 10.** Comparación del análisis mecánico de limo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Este cambio en la fracción de limo, coincide con los valores encontrados por Cáceres, JA. (2018), en donde obtuvieron que la fracción de limo se mantiene casi igual en la profundidad de 0 a 5 cm, pero disminuye en la profundidad de 5 a 10 cm; de igual manera, Alva, D. y Manosalva H. (2019), determinaron una disminución de la fracción de limo en el suelo parcialmente quemado.

#### 4.3.12. Arcilla

Comparando los porcentajes de arcilla entre el suelo quemado y el suelo sin quemar en las mismas profundidades, notamos que en la profundidad de 0 – 10 cm el porcentaje de arcilla disminuye levemente 1.00 % en el suelo quemado; en cambio en la profundidad de 10 – 20 cm se observa un incremento de 1.00 % en el suelo quemado.

Según (Bemetrioux et al. 1960; Giovannini 1994; Úbeda 2001; Terefe et al. 2008; Capulín et al. 2009) citado por (Sacchi et al., 2015) la disminución del contenido de arcillas y el aumento de la fracción arena puede ser debido a la incorporación de partículas ocasionada por el aumento de la temperatura del suelo producida por el incendio forestal.

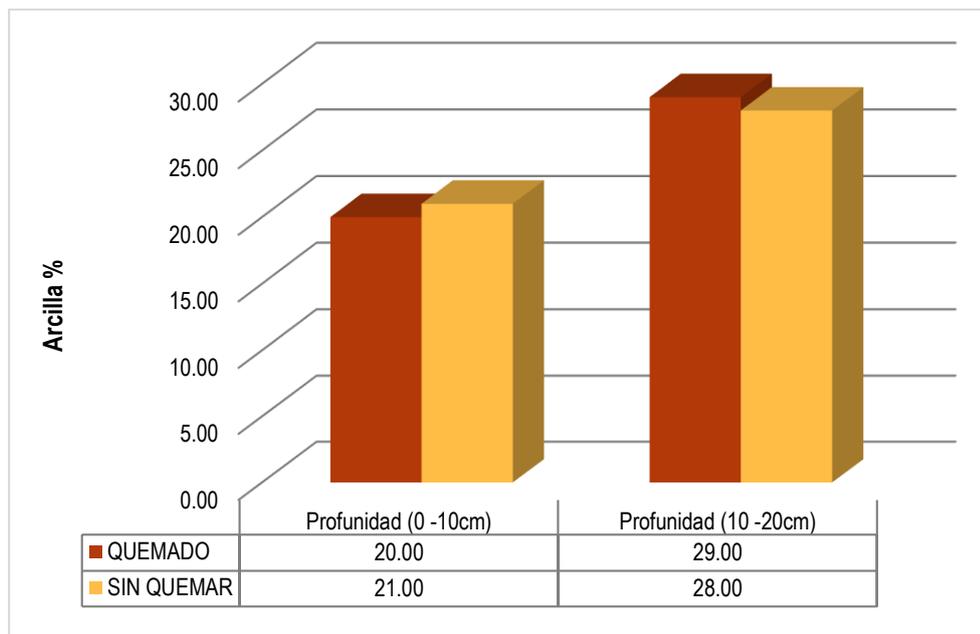


Figura 11. Comparación del análisis mecánico de arcilla entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Sin embargo, como se detalla en la tabla 5, en el análisis general del suelo quemado y del suelo sin quemar, observamos que las fracciones de arcilla en el suelo quemado se mantienen igual que el suelo sin quemar. Por lo que decimos, que a nivel general el incendio forestal no ha ocasionado alteraciones en las fracciones de arcilla del suelo.

#### 4.3.13. Clase textural

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 5, la clase textural del suelo quemado y del suelo sin quemar se mantiene igual en las profundidades. En el caso de la profundidad de 0 – 10, el suelo quemado y el suelo sin quemar presenta una clase textural franco, y con respecto a la profundidad 10 – 20 cm, el suelo quemado y el suelo sin quemar su clase textural es franco arcilloso.

Como mencionan (Beyers *et al.*, 2008) citado por (Rosero J. y Osorio I. 2013) que teniendo en cuenta que la fracción de la textura más sensible es la arcilla y lograr que esta comience a modificarse se debe contar con temperaturas aproximadas de 400 °C, llegando a una destrucción completa con temperaturas entre 700 y 800 °C; sin embargo, si deseamos alteraciones en la arena o el limo se requerirían temperaturas superiores a los 1 414 °C. Por lo tanto, el efecto nulo que ha tenido el incendio forestal en relación a esta propiedad, se deba posiblemente a los altos umbrales de temperatura que alcanzó.

#### 4.3.14. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)

Con relación a la capacidad de intercambio catiónico, como se describe en la tabla 5, en el análisis comparativo a nivel de profundidad entre el suelo quemado y el suelo sin quemar, podemos notar que el C.I.C. se incrementa en 5.04 meq/100 g en la profundidad de 0 – 10 cm del suelo quemado y 3.41 meq/100 g en la profundidad 10 – 20 cm en el mismo suelo. Al observar que la C.I.C. se incrementa en ambas profundidades, se realizó el análisis comparativo general del suelo quemado y del suelo sin quemar, en donde determinamos que el incendio forestal tuvo un efecto positivo en el suelo quemado debido a que este presenta un incremento de 4.23 meq/100 g

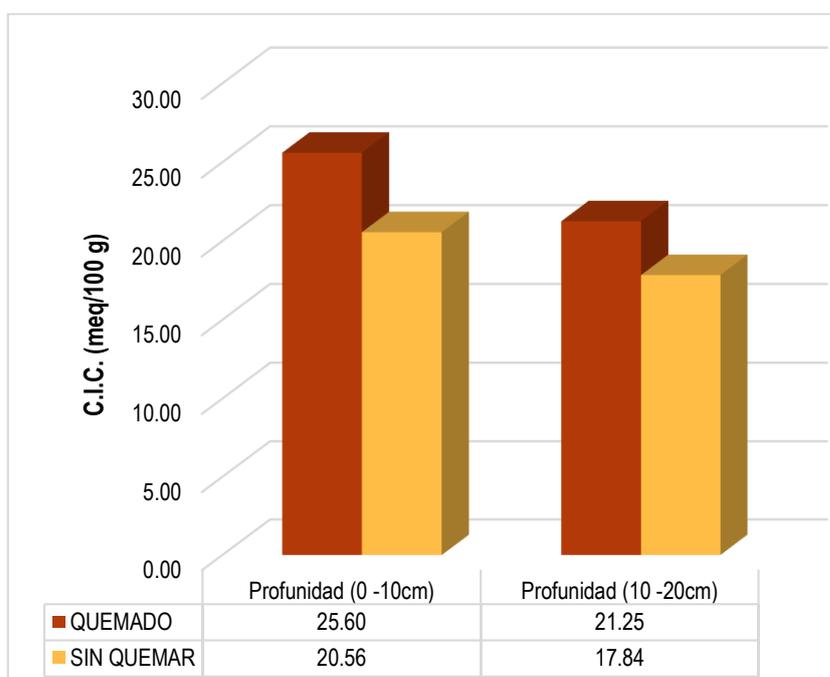


Figura 12. Comparación de la C.I.C. entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Como menciona Alva, D. y Manosalva H. (2019), la capacidad de intercambio catiónico está estrechamente relacionado con la materia orgánica ya que tienen el mismo comportamiento después de un incendio forestal; y al cotejar la figura 5, vemos que el porcentaje de materia orgánica en el suelo incrementa después del incendio.

#### 4.3.15. Cation $\text{Ca}^{+2}$

En relación al catión de  $\text{Ca}^{+2}$  en el análisis comparativo entre el suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad, observamos que en el suelo quemado hay un incremento de 1.00 meq/100 g con respecto al suelo sin quemar en la profundidad de 0 – 10 cm; sin embargo, en la profundidad de 10 - 20 cm el catión de  $\text{Ca}^{+2}$  disminuye en 3.59 meq/100 g en el suelo quemado. Por lo tanto, al ver la variación existente del catión de  $\text{Ca}^{+2}$  a nivel de profundidad, se realizó el análisis comparativo general del suelo quemado y del suelo sin quemar, en donde determinamos que el incendio forestal tuvo un efecto negativo en el suelo quemado debido a que este presenta una disminución de 1.30 meq/100 g.

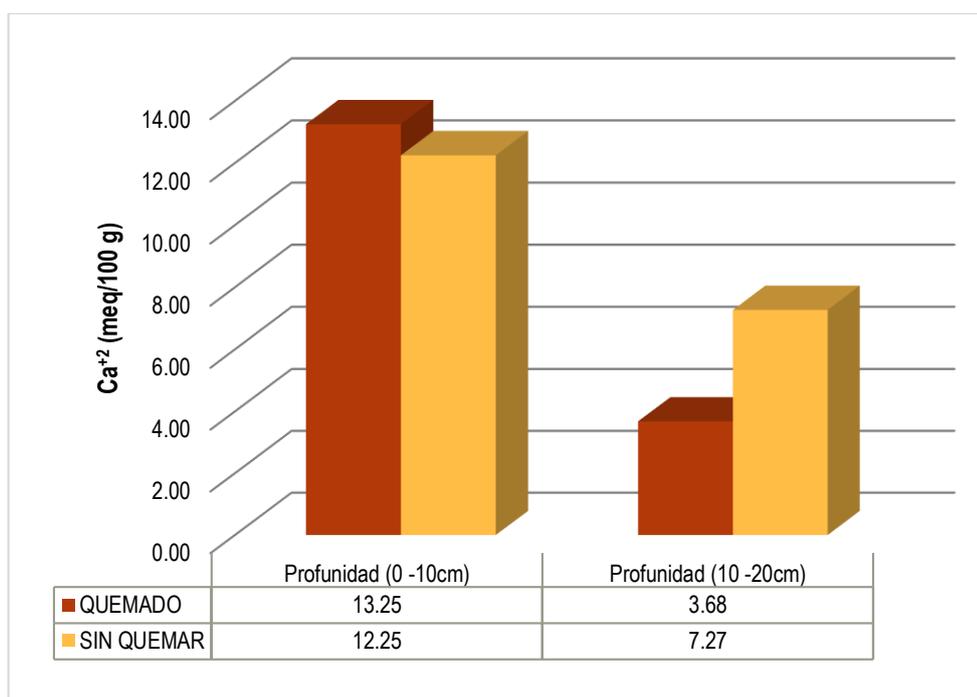


Figura 13. Comparación del catión  $\text{Ca}^{+2}$  entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Según (Thiffault et al. 2008) citado por (Urretavizcaya, MF. 2010), la combustión de la materia orgánica libera el calcio y magnesio en forma de óxidos solubles los cuales son fácilmente desplazados por el viento y por la escorrentía superficial, pero son rápidamente convertidos a carbonatos menos solubles y es por esa razón que estos cationes muestran usualmente altas retenciones en el suelo superficial.

#### 4.3.16. Cation Mg<sup>+2</sup>

A nivel de profundidad el incendio forestal ha presentado variación en los resultados, con respecto a la profundidad de 0 – 10 cm el catión de Mg<sup>+2</sup> presenta un incremento del 0.48 meq/100g en el suelo quemado; sin embargo, en la profundidad de 10 - 20 cm el valor del catión de Mg<sup>+2</sup> en el suelo quemado tiene un ligero incremento 0.01 meq/100g en relación al suelo sin quemar.

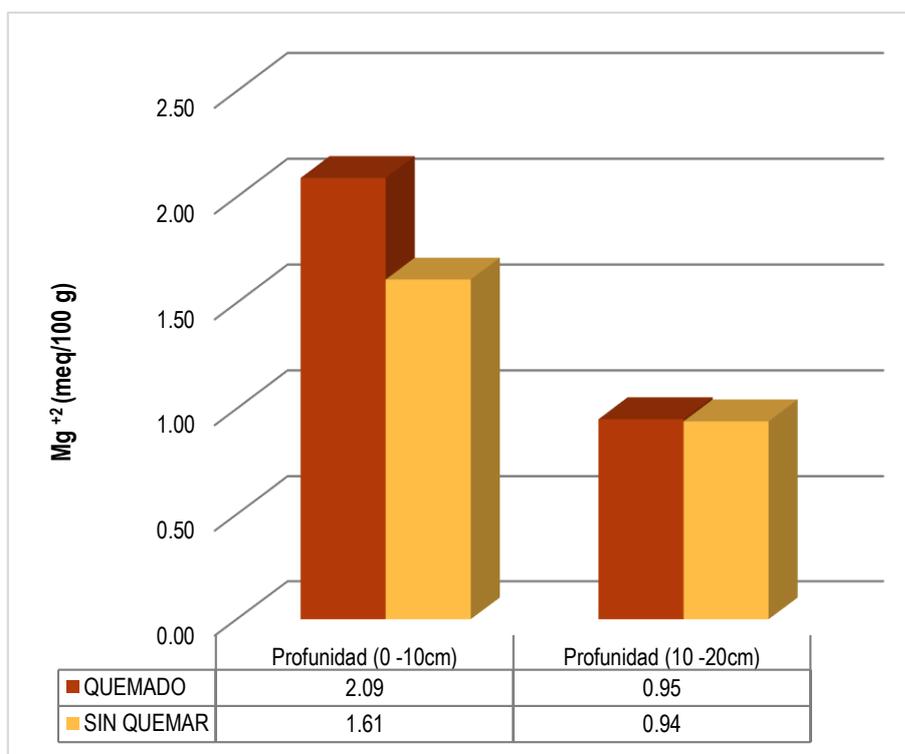


Figura 14. Comparación del catión Mg<sup>+2</sup> entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Por lo que, al realizar el análisis comparativo del suelo quemado y sin quemar, se obtiene que el incendio forestal incrementa en un 0.25 meq/100 g el catión de Mg<sup>+2</sup> del suelo quemado. Estos cambios, como mencionan Soto y Díaz-Fierros (1993) y Viro, P.J. (1974) citado por Urretavizcaya, MF. (2010); se debe a que, inmediatamente después del incendio forestal la cantidad de magnesio y calcio de la superficie del suelo mineral disminuye ligeramente, pero que luego hay un incremento que ocurre paralelamente con un aumento del fósforo. La razón de esta simultaneidad se debería a la formación de un fosfato de magnesio poco soluble y menos transportable.

#### 4.3.17. Cation K<sup>+</sup>

A nivel de profundidad, el suelo quemado se incrementa un 0.12 meq/100 g en la profundidad de 0 – 10 cm con respecto al suelo sin quemar; así mismo, en la profundidad de 10 - 20 cm el catión de K<sup>+</sup> presenta un incremento de 0.0.13 meq/100 g en el suelo quemado. Así mismo, en relación a la comparación general del suelo quemado y el suelo sin quemar, se observa que el suelo quemado se incrementa en un 0.13 meq/100 g en relación al suelo sin quemar, como mencionan Ellis y Graley, (1983), citado por Domínguez, H. (2016), el incremento de los valores de los cationes cambiabiles (K y Mg) procedentes de las cenizas.

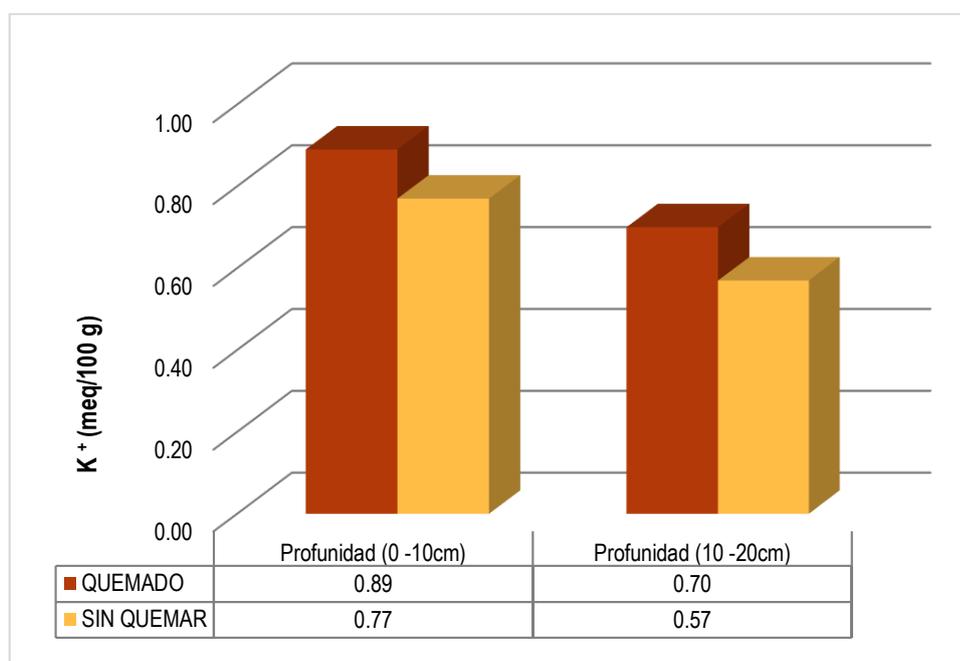


Figura 15. Comparación del catión K<sup>+</sup> entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

#### 4.3.18. Cation Na<sup>+</sup>

En el análisis comparativo del suelo a nivel de profundidad, observamos que en el suelo quemado tiene un incremento de 0.02 meq/100 g en relación al suelo sin quemar en la profundidad de 0 – 10 cm; así mismo, en la profundidad de 10 - 20 cm el catión de Na<sup>+</sup> presenta un incremento de 0.01 meq/100 g en el suelo quemado. Así mismo, en el análisis general del suelo se observa que se ha ocasionado un incremento de 0.02 meq/100 g del catión de Na<sup>+</sup> en el suelo quemado.

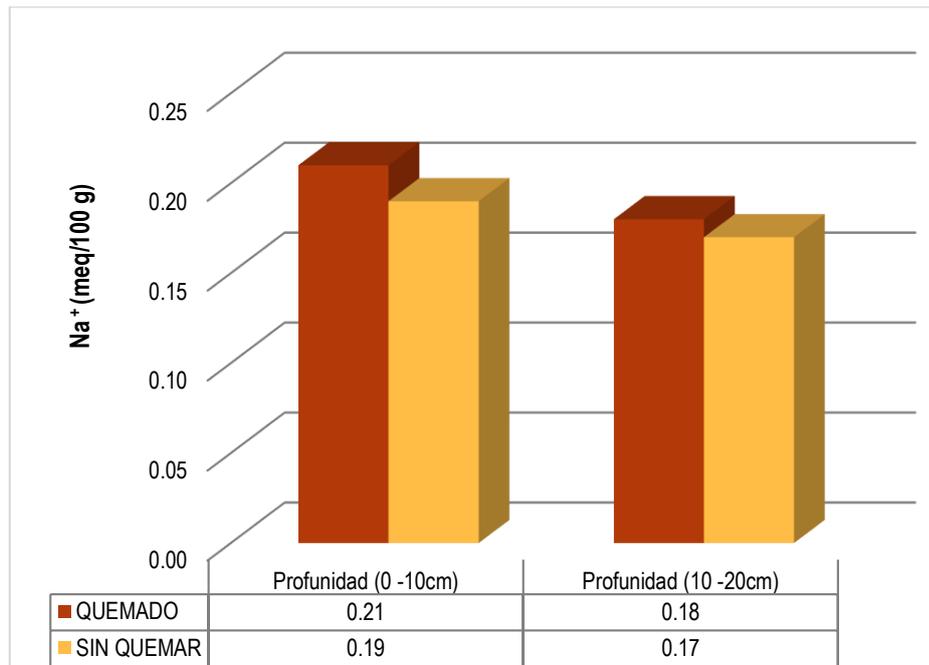


Figura 16. Comparación del catión  $\text{Na}^+$  entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

#### 4.3.19. Cationes acidificantes ( $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$ )

En el análisis comparativo del suelo en la profundidad de 0 – 10 cm, observamos que en el suelo quemado y el suelo sin quemar los cationes acidificantes ( $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$ ) se mantiene en el mismo valor; sin embargo, en la profundidad de 10 - 20 cm los cationes acidificantes ( $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$ ) en el suelo quemado presentan un incremento de 1.55 meq/100 g.

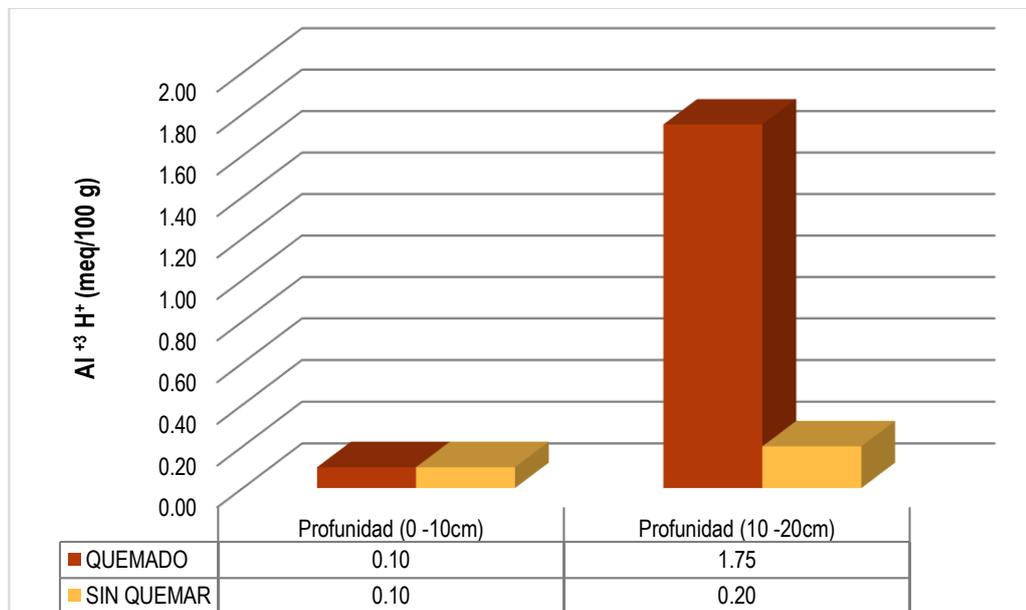


Figura 17. Comparación del catión  $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$  entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Así mismo, en el análisis general del suelo se observa que el incendio forestal ha ocasionado un incremento de 0.78 meq/100 g de los cationes acidificantes ( $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$ ) en el suelo quemado. Como mencionan Camargo et al. 2012 y Alva, D. y Manosalva H. (2019) la acides del suelo está estrechamente relacionada con la suma de  $\text{H}^+$  más el  $\text{Al}^{+3}$  cambiante. Y observando la tabla 5, el pH suelo quemado decrece en 0.46 unidades por lo que ocasiona el incremento del catión  $\text{Al}^{+3} \text{H}^+$ .

#### 4.3.20. Suma de Cationes

En el análisis comparativo realizado entre ambos suelos a nivel de profundidad, determinamos que en la profundidad de 0 – 10 cm la suma de cationes del suelo quemado tiene un incremento de 1.65 meq/100 g; lo que no ocurre en la profundidad de 10 – 20 cm, la cual presenta una disminución de 1.86 meq/100 g.

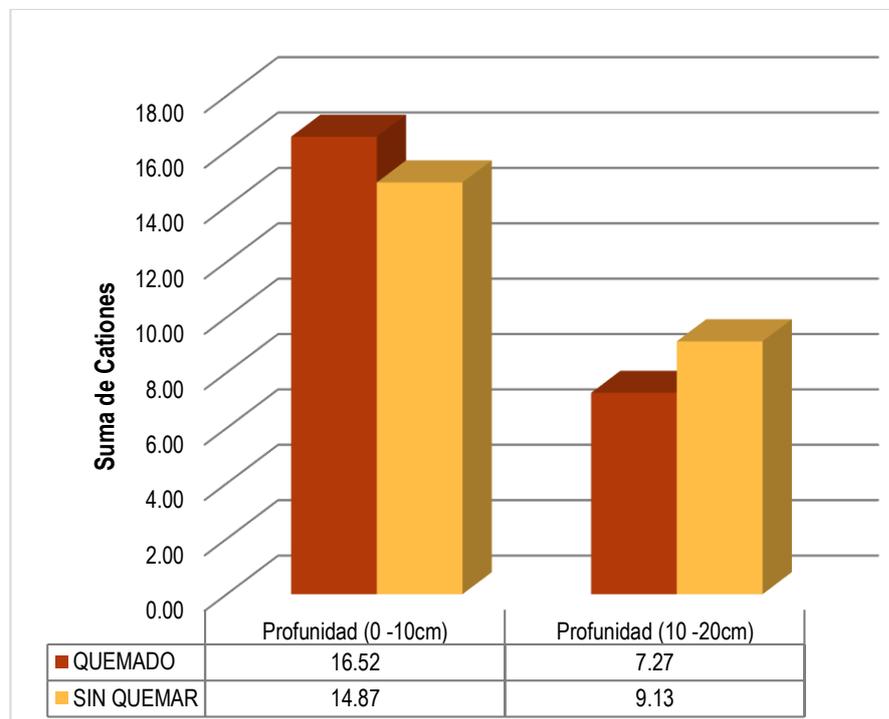


Figura 18. Comparación de la suma de cationes entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Por lo tanto, en el análisis general del suelo, la variación de la suma de cationes en el suelo quemado es disminución de 0.11 meq/100 g en relación al suelo sin quemar, esto se debe a los cambios una disminución en el catión de calcio del suelo quemado.

#### 4.3.21. Suma de bases

En el análisis comparativo realizado entre ambos suelos a nivel de profundidad, determinamos que en la profundidad de 0 – 10 cm la suma de bases del suelo quemado tiene un incremento de 1.65 meq/100 g; lo que no ocurre en la profundidad de 10 – 20 cm, la cual presenta una disminución de 3.41 meq/100 g. Estas variaciones se deben a que los cationes del suelo presentan cambios en los primeros 10 cm.

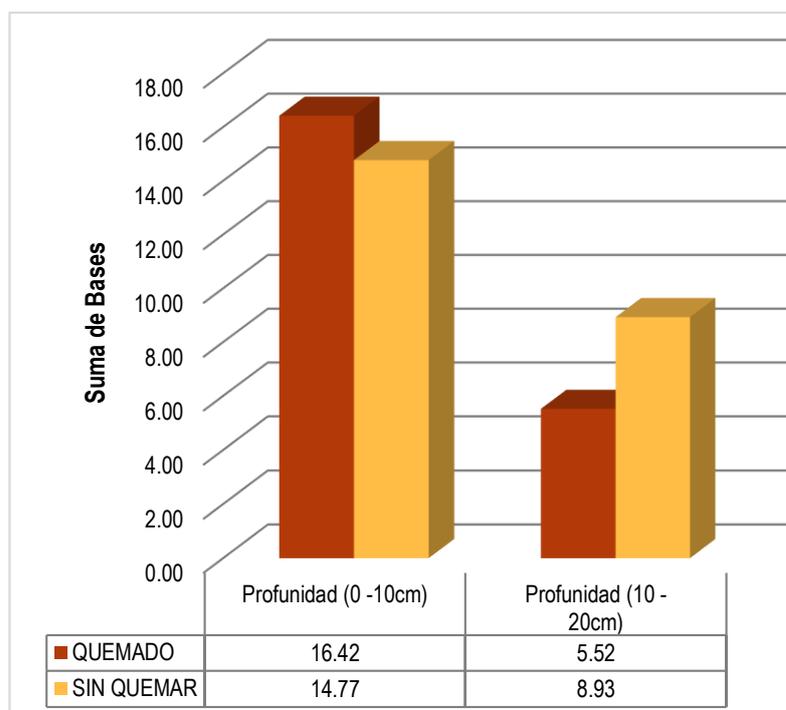


Figura 19. Comparación de la suma de bases entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

Por lo tanto, en el análisis general del suelo, el incendio forestal ha ocasionado una disminución de 0.88 meq/100 g en la suma de bases en el suelo quemado. Esto se debe a que hay una disminución en el catión de calcio del suelo quemado.

#### 4.3.22. Saturación de bases

Comparando los resultados del suelo quemado y el suelo sin quemar a nivel de profundidad, determinamos que en la profundidad de 0 – 10 cm la saturación de bases del suelo quemado tiene una disminución de 8.00 meq/100 g en el suelo quemado; lo que no ocurre en la profundidad de 10 – 20 cm, la cual presenta una disminución del 24.00 meq/100 g en el mismo suelo.

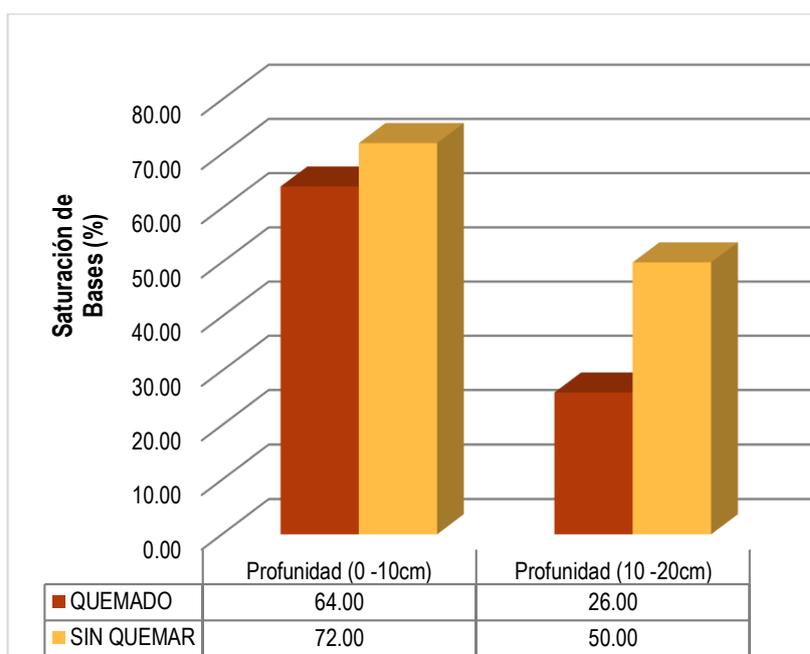


Figura 20. Comparación de la saturación de bases entre el suelo quemado y el suelo sin quemar

La saturación de base es a la fracción de los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo y se mide y es expresada como un porcentaje. La saturación de bases está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico. Como menciona Según Martínez y Becerra (2004), citado por Domínguez, H. (2016), al incrementar la C.I.C. la saturación de bases disminuye progresivamente, como consecuencia de la incorporación de los cationes básicos.

#### 4.4. Análisis estadístico de los resultados

La presente investigación se desarrolló el análisis de varianza de un diseño factorial de  $2^2$  y la prueba de rango múltiple de Duncan; en donde se obtuvo los siguientes datos.

Tabla 6. Resumen del diseño factorial

Factores:	2	Réplicas:	2
Tratamiento base:	4	Total de tratamiento:	8
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Número de niveles: 2; 2

**Tabla 7.** Diseño factorial

Tratamientos	Blq	A	B
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	1	2	2
5	1	1	1
6	1	1	2
7	1	2	1
8	1	2	2

**Tabla 8.** Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Suelo	2	Quemado; Sin quemar
Profundidad	2	0 - 10 cm; 10 - 20 cm

Como se muestra en la tabla 8, el nivel de significancia de la investigación varía entre los factores analizados; el mayor grado de significancia se encuentra a nivel de la profundidad del suelo, seguido por el tipo de suelo (quemado y sin quemar) y en última instancia se encuentra la interacción de suelo y profundidad.

Así mismo, podemos decir que el pH, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, el catión de  $Al^{+3}$   $H^+$  y la saturación de bases; presentan diferencias significativas en relación al suelo quemado y sin quemar.

La prueba de rango múltiple de Duncan, de cada uno de los parámetros del suelo estudiados se encuentran en la sección de anexos.

**Tabla 9.** Nivel de significación de la investigación

PROPIEDAD	UNIDAD	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN			
		SUELO	PROFUNDIDAD	SUELO * PROFUNDIDAD	
Densidad Aparente	g cm <sup>-3</sup>	0.217 <sup>NS</sup>	0.296 <sup>NS</sup>	0.922 <sup>NS</sup>	
Color	Unidad	-	-	-	
pH	Unidad	0.034 <sup>*</sup>	0.012 <sup>*</sup>	0.093 <sup>NS</sup>	
C.E.	dS/m	0.862 <sup>NS</sup>	0.002 <sup>**</sup>	0.607 <sup>NS</sup>	
CaCO <sub>3</sub>	%	-	-	-	
M.O.	%	0.298 <sup>NS</sup>	0.004 <sup>**</sup>	0.771 <sup>NS</sup>	
N	%	0.040 <sup>*</sup>	0.004 <sup>**</sup>	0.167 <sup>NS</sup>	
P	ppm	0.849 <sup>NS</sup>	0.303 <sup>NS</sup>	0.318 <sup>NS</sup>	
K	ppm	0.157 <sup>NS</sup>	0.093 <sup>NS</sup>	0.820 <sup>NS</sup>	
Análisis Mecánico	Arena	%	0.320 <sup>NS</sup>	0.003 <sup>**</sup>	0.725 <sup>NS</sup>
	Limo	%	0.251 <sup>NS</sup>	0.678 <sup>NS</sup>	0.251 <sup>NS</sup>
	Arcilla	%	1.000 <sup>NS</sup>	0.027 <sup>**</sup>	0.692 <sup>NS</sup>
Clase Textural	-	-	-	-	
C.I.C.	meq/100 g	0.002 <sup>**</sup>	0.004 <sup>**</sup>	0.243 <sup>NS</sup>	
Cationes Intercambiables	Ca <sup>+2</sup>	meq/100 g	0.266 <sup>NS</sup>	0.002 <sup>**</sup>	0.084 <sup>NS</sup>
	Mg <sup>+2</sup>	meq/100 g	0.071 <sup>NS</sup>	0.001 <sup>**</sup>	0.084 <sup>NS</sup>
	K <sup>+</sup>	meq/100 g	0.106 <sup>NS</sup>	0.032 <sup>*</sup>	0.888 <sup>NS</sup>
	Na <sup>+</sup>	meq/100 g	0.201 <sup>NS</sup>	0.074 <sup>NS</sup>	0.838 <sup>NS</sup>
	Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup>	meq/100 g	0.002 <sup>**</sup>	0.001 <sup>**</sup>	0.002 <sup>**</sup>
Suma de Cationes	meq/100 g	0.926 <sup>NS</sup>	0.002 <sup>**</sup>	0.179 <sup>NS</sup>	
Suma de Bases	meq/100 g	0.456 <sup>NS</sup>	0.001 <sup>**</sup>	0.077 <sup>NS</sup>	
Saturación de bases	%	0.025 <sup>*</sup>	0.003 <sup>**</sup>	0.146 <sup>NS</sup>	

\* Significativo

\*\* Altamente significativo

<sup>NS</sup> No es significativo

#### 4.5. Análisis general de los efectos del incendio forestal

De acuerdo con los análisis previos de los resultados obtenidos en las propiedades físicas y químicas del suelo quemado y sin quemar, se ha elaborado la tabla 10, en la cual se describen los efectos que se han generado por el incendio forestal en cada una de las propiedades.

**Tabla 10.** Valoración de los efectos generados por el incendio forestal a los 8 meses.

PROPIEDAD		UNIDAD	EFEECTO
Densidad Aparente		g cm <sup>-3</sup>	Positivo
Color		Unidad	Nulo
pH		Unidad	Negativo
C.E.		dS/m	Nulo
CaCO <sub>3</sub>		%	Nulo
M.O.		%	Positivo
P		ppm	Positivo
K		ppm	Positivo
Análisis Mecánico	Arena	%	Positivo
	Limo	%	Negativo
	Arcilla	%	Nulo
Clase Textural		-	Nulo
C.I.C.		meq/100 g	Positivo
Cationes Intercambiables	Ca <sup>+2</sup>	meq/100 g	Negativo
	Mg <sup>+2</sup>	meq/100 g	Positivo
	K <sup>+</sup>	meq/100 g	Positivo
	Na <sup>+</sup>	meq/100 g	Positivo
	AL <sup>+3</sup> H <sup>+</sup>	meq/100 g	Negativo
Suma de Cationes		-	Negativo
Suma de Bases		-	Negativo
Saturación de bases		-	Negativo
N		%	Positivo
<b>EFFECTOS POSITIVOS</b>			<b>10</b>
<b>EFFECTOS NEGATIVOS</b>			<b>7</b>
<b>EFFECTOS NULO</b>			<b>5</b>

Fuente: Resultados obtenidos en la Tabla 1 de anexos

De acuerdo a la FAO (2001), el fuego es un elemento esencial y natural en el funcionamiento de numerosos ecosistemas forestales y naturales; y ha sido utilizado desde hace miles de años por los seres humanos como instrumento de ordenación de la tierra. El fuego es uno de los elementos naturales que ha influido en las comunidades vegetales a lo largo del tiempo y como proceso natural cumple una función importante para mantener la salud de determinados ecosistemas. Sin embargo, al perder el control del fuego, este se convierte en un incendio cuyos efectos en el ambiente se ve reflejados en la pérdida de cobertura vegetal, procesos de sedimentación de cauces de río, pérdida de la biodiversidad, contaminación de aguas, procesos de erosión, cambios micro climáticos y otros innumerables efectos, muchos de los cuales sólo se manifiestan luego de decenas de años (Castillo, M.; Pedernera, P y Peña, E. 2003).

Observando la tabla 10, los datos obtenidos en la lectura de las calicatas y los análisis de cada una de las propiedades físicas y químicas del suelo, decimos que el incendio forestal ocurrido en el bosque de Huacraruco está categorizado como incendio de baja intensidad, ya que se ha generado un efecto positivo en la mayoría de las propiedades del suelo. Así mismo, al contrastar los datos de la tabla 9 y 10, se observa que los efectos del incendio forestal presentan diferencias significativas en relación al suelo quemado y sin quemar, se presentaron con mayor incidencia en el pH, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, el catión de  $Al^{+3}$   $H^+$  y la saturación de bases del suelo forestal. Estos cambios, como mencionan Neary et al., (1999) y Mataix-Solera et al., (2002) citados por Bodi et al., (2012), son característicos de incendios de baja intensidad; ya que estos, son de pequeño impacto y promueven la vegetación herbácea, incrementan la disponibilidad de nutrientes y permite el incrementar el ingreso de luz en los bosques, lo que promueve un hábitat más saludable; así mismo, puede haber incrementos de carbono orgánico procedente de la vegetación parcialmente pirolizada. López (2006) citado por Rosero J. y Osorio I. (2013), afirma que el fuego ayuda a la movilización de nutrientes y al control de plagas. Además, indica que los incendios de baja intensidad contribuyen a mantener el carbono del suelo, porque evitan su volatilización y pérdida en forma de gas carbónico.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Con respecto a las propiedades físicas del suelo, el incendio forestal ha afectado positivamente en la densidad aparente ya que esta presenta un incremento del  $0.125 \text{ g cm}^{-3}$  y respecto al color y textura, el incendio forestal ha tenido un efecto nulo; ya que, los valores de estas propiedades se han mantenido iguales tanto en el suelo quemado como en el suelo sin quemar.

Con respecto a las propiedades químicas, los efectos del incendio forestal han variado entre positivos, negativos y nulos. Los efectos positivos se deben al incremento en los valores de materia orgánica (1.055 %), Nitrógeno (0.080 %), fósforo y potasio disponible (0.250 ppm y 61 ppm), fracción de arena (1.5 %), catión  $\text{Mg}^{+2}$  (0.245 meq/100), catión  $\text{K}^{+}$  (0.125 meq/100), catión  $\text{Na}^{+}$  (0.015 meq/100) y capacidad de intercambio catiónico (4.225 meq/100g). En relación a los efectos negativos, se debe a la disminución en los valores del pH (0.460 unidades), fracción de limo (1.50 %), catión  $\text{Ca}^{+2}$  (1.295 meq/100g), suma de cationes (0.105 meq/100g), suma de bases (0.88 meq/100g) y saturación de bases (16.00 %); así mismo, se incluye el catión  $\text{Al}^{+3} \text{ H}^{+}$ , aunque este presenta un incremento de 0.775 meq/100g al estar estrechamente relacionado con la acidez del suelo, pertenece al grupo de efectos negativos. Y respecto a la conductividad eléctrica, es la única propiedad que no se ha visto afectada por el incendio forestal, ya que esta presenta un valor nulo. Sin embargo, los valores descritos varían de acuerdo a la profundidad del suelo.

Los cambios más significativos encontrados al comparar los valores del suelo quemado y el suelo sin quemar, se suscitaron en las propiedades químicas del suelo; tales como, el pH, nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, el catión de  $\text{Al}^{+3} \text{ H}^{+}$  y la saturación de bases del suelo forestal.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar evaluaciones a través de tiempo, de la dinámica que presentan los suelos después de los incendios forestales tanto en las plantaciones de forestales de Huacraruco como en otros casos.

## CAPITULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afif, E y Oliveira, J. A. 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo (en línea). Revista Invest Agrar: Sist Recur For (2006) 15(3), 262-270. Consultado el 14 de may 2019. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/download/2230/1638>

Alva, D. y Manosalva H. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Cajamarca, Perú. Universidad Privada del Norte. 90 p. Consultado el 9 may. 2019. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva%20Mendoza%20Denisse%20Milagros%20-%20Manosalva%20Caruajulca%20H%c3%a9ctor%20lv%c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bernardis et al. 2004. Impacto ambiental de la quema prescripta de un pastizal sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo (en línea). Universidad Nacional del nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Argentina. Consultado el 10 feb. 2019. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-044.pdf>

Bodi et al. 2012. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea, revisión bibliográfica (en línea). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 58 – 2012. 33 – 55 p. Consultado el 5 de jun del 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3885420/1.pdf>

Cáceres, JA. 2018. Efectos de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo Huancayo (en línea). Tesis Ing. Huancayo. Universidad Continental. 144 p. Consultado el 19 ene. 2019. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/4645/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Caceres\\_Lopez\\_2018.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/continental/4645/4/IV_FIN_107_TE_Caceres_Lopez_2018.pdf)

Camargo et al. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia (en línea). Revista Redalyc, Acta Agronómica, vol. 61, no. 2, 2012, pp. 151-165. Consultado el 9 may. 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169925874010>

Castillo, M.; Pedernera, P y Peña, E. 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global (en línea). Revista ambiente y desarrollo de CIPMA. VOL. XIX: 44-53. Consultado el 29 mar. 2019. Disponible en: <http://www.keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Economia-Desarrollo/29.pdf>

CENEPRED (Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres). 2018. Caracterización del peligro por incendios forestales 2018 (en línea). Consultado el 13 ene. 2019. Disponible en: <https://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MzM=/MzM1/lista/MTA0OQ==/201810231057481.pdf>

Domínguez, H. 2016. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada. Tesis MsC. Manizales, Caldas, Colombia. Universidad de Caldas. 114 p.

Eredia, E. 2015. Densidad real aparente y porosidad del suelo (en línea). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 10 p. Consultado el 14 abr. 2019. Disponible en: [https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD\\_REAL\\_APARENTE\\_Y\\_POROSIDAD\\_DEL\\_SU\\_ELO](https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SU_ELO)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Los incendios forestales y la diversidad biológica (en línea). Revista internacional de silvicultura e industrias forestales - Vol. 53 2002/2. Unasylva - No. 209 - Diversidad biológica forestal. Consultado el 5 jun. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y3582s/y3582s00.htm#TopOfPage>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Guía para la descripción de suelos (en línea). Roma. 4 d. 111 p. Consultado el 30 may. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. El suelo es un recurso no renovable, su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible (en línea). Consultado el 18 mar. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/278964/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2019. Propiedades Químicas (en línea). Consultado el 20 mar. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Fernández, I. 1997. Influencia de los incendios forestales sobre la materia orgánica edáfica (en línea). Tesis Dr. Santiago de Compostela, Galicia, España. Universidad de Santiago de Compostela. 322 p. Consultado el 20 de jun del 2019. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/103090/1/incendios\\_forestales\\_Fernandez.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/103090/1/incendios_forestales_Fernandez.pdf)

Flores, JG. 2009. Impacto ambiental de los incendios forestales. México. Mundi Prensa México, S.A. DE C.V. 325 p.

Hernández, I. y López D. 2002. Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sabana de Trachypogon (en línea). Revista de Biología Tropical vol.50. 3-4. Consultado el 20 ene. 2019. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442002000300019](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442002000300019)

INIA (Instituto Nacional de investigación agropecuaria).2015. Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas (en línea). Uruguay. 19 p. Consultado el 21 mar. 2019. Disponible en: <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2017. La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos (en línea). Serie Suelos. Núm. 26. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Consultado el 19 mar. 2019. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2017. Fijación de Potasio en el Suelo. Serie Suelos Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. Consultado el 19 mar. 2019. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>

Jaramillo, DJ. 2002. Introducción a la ciencia del suelo (en línea). Universidad Nacional de Colombia. 619 p. Consultado el 19 mar. 2019. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Jordán et al 2013. Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (en línea). Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação E Medidas De Recuperação Dos Solos. Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, Universidade do Minho. 145 – 160 p. Braga, Portugal. Consultado el 14 de may. 2019. Disponible en: [https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros\\_livros/viiegfa/Artigo\\_12\\_Reyes\\_de\\_Celis.pdf](https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros_livros/viiegfa/Artigo_12_Reyes_de_Celis.pdf)

La Manna, L. y Barroetaveña, C. 2011. Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* afectados por fuego (en línea). Revista FCA UNCUYO (43): 41-55. Consultado el 20 mar. 2019. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/61885326.pdf>

Mataix-Solera et al. 2009. Los incendios forestales y el suelo, un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. Dialnet ISBN 978-84-370-7653-9. 185-218 p.

Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas (en línea). Ed. Alicante, España. Caja Mediterráneo, CEMACAM Font Roja. 36 p. Consultado el 19 mar. 2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Mataix-Solera/publication/229187257\\_Efectos\\_de\\_los\\_incendios\\_forestales\\_en\\_las\\_propiedades\\_edaficas/links/0fcfd500835635e07c000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Mataix-Solera/publication/229187257_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_las_propiedades_edaficas/links/0fcfd500835635e07c000000.pdf)

Montorio et al., 2015. La severidad del fuego: Revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales (en línea). Geoecología, cambio ambiental y paisaje: Homenaje al profesor José María García-Ruiz, 427-440 p. Consultado el 10 may. 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4854191.pdf>

Moscovich et al 2014. Manual de Combate de Incendios Forestales y Manejo de Fuego, Nivel Inicial (en línea). Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 35 p. Consultado el 31 mar. 2019. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/incendios\\_y\\_uso\\_del\\_fuego/65-Manual.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/65-Manual.pdf)

Munera, G. y Meza, D. 2016. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal (en línea). Pereira, Colombia. 52 p. Consultado el 20 mar. 2019. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20fósforo%20elemento.pdf?sequence=1>

Parrilla, M. 2017. 2017, otro récord en incendios de la última década (en línea, blog). España, Greenpeace. Consultado el 02 abr. 2019. Disponible en: <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Blog/2017-record-incendios-ultima-decada/blog/60428/>

Pascual, A.J. 2011. Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo, incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio (En línea). Tesis Dr. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 181 p. Consultado el 15 de may. 2019. Disponible en: [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/72763/file\\_1.pdf?sequence=1](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/72763/file_1.pdf?sequence=1)

Ramírez, R. 1997. Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos (en línea). Boletín Reg. 8 Col. 347-1997. Consultado el 20 mar. 2019. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

Rodríguez, D; Rodríguez, M y Fernández, F. 2009. Educación e incendio forestal. 1 ed. México. Mundi Prensa México, S.A. DE C.V. 201 p.

Rosero J. y Osorio I. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, estado del arte (en línea). Revista Cuaderno activa. N° 05. 56-67 p. Consultado el 01 abr. 2019. Disponible en: <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/130/115/>

Rucks et al. 2004. Propiedades Físicas del Suelo (en línea). Montevideo, Uruguay. 68 p. Consultado el 19 mar. 2019. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44190787/propiedades\\_fisicas\\_del\\_suelo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553055730&Signature=fZuPNn0CuF0VAPQkh4sTsmHP0IQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFACULTAD\\_DE\\_AGRONOMIA\\_UNIVERSIDAD\\_DE\\_LA.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44190787/propiedades_fisicas_del_suelo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553055730&Signature=fZuPNn0CuF0VAPQkh4sTsmHP0IQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFACULTAD_DE_AGRONOMIA_UNIVERSIDAD_DE_LA.pdf)

Ruiz, J. 2015. Incendios de vegetación (en línea). Guadalajara, México. 53 p. Consultado el 16 ene. 2019. Disponible en: [http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m1/M1\\_Incendios\\_v6\\_06\\_vegetacion/M1-Incendios-v6-06-vegetacion.pdf](http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m1/M1_Incendios_v6_06_vegetacion/M1-Incendios-v6-06-vegetacion.pdf)

Sacchi et al. 2015. Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico (en línea). Revista SJSS, Spanish Journal of Soil Science. V5.N3.03. 214 – 226 p. Consultado el 04 de jun 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6474644.pdf>

Samaniego, CA. 2013. Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus en Huaraz (en línea). Tesis Ing. Ciudad Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 113 p. Consultado el 01 abr. 2019. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Satyam, SJ. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil, A review (en línea). Revista Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2012, 2(3):168-176 p. Consultado el 15 may. 2019. Disponible en: [http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2012-2\(3\)/impact-of-forest-fire.pdf](http://www.iaees.org/publications/journals/piaees/articles/2012-2(3)/impact-of-forest-fire.pdf)

SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). 2016. Manual para control de incendios forestales (en línea). Cusco, Perú. 72 p. Consultado el 21 mar. 2019. Disponible en: [https://peru.fzs.org/files/6114/8469/0568/Anexo\\_1\\_Manual\\_Incendios.pdf](https://peru.fzs.org/files/6114/8469/0568/Anexo_1_Manual_Incendios.pdf)

SINPAD (Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres). 2019. Listado de emergencias (en línea). Consultado el 25 mar. 2019. Disponible en: <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/ListadoEmergencias.asp?emerg=1&estado=0&ano=2018&ord=2&region=00&sltEmer=1&sltEstado=0&sltAno=2018&sltOrden=2&sltRegion=06>

Soto Contreras, YL. 2009. Determinación de parámetros químicos y poblaciones bacterianas del suelo relacionadas con el ciclo del carbono y nitrógeno, antes y después de la quema de residuos de cosecha de trigo (en línea). Tesis Ing. Ciudad de Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 61 p. Consultado el 10 feb. 2019. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/fas718d/doc/fas718d.pdf>

Urretavizcaya, MF. 2010. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina (en línea). *Bosque*, vol. 31, núm. 2, 2010, 140-149 p. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Consultado el 04 de jun del 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1731/173116383007.pdf>

Viviana, V. 2016. Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después de la quema en dos tipos de uso del suelo en el Distrito de Campo Verde (en línea). Tesis Ing. Pucallpa. Universidad Nacional de Ucayali. Consultado el 8 ene. 2019. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3259/000001673T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## **ANEXOS**

**Tabla 11.** Efectos del incendio forestal en el suelo a nivel de profundidad y general

Propiedad	Unidad	Profundidad	Suelo		Efectos a nivel		
			Quemado	Sin quemar	Profundidad	General	
Densidad Aparente	g cm <sup>-3</sup>	0 - 10 cm	1.37	1.29	0.08	0.125	
		10 - 20 cm	1.4	1.23	0.17		
Color	Unidad	0 - 10 cm	10 YR 3/1	10 YR 3/1	-	-	
		10 - 20 cm	10 YR 3/1	10 YR 3/1	-		
pH	Unidad	0 - 10 cm	5.33	5.47	-0.14	-0.46	
		10 - 20 cm	4.38	5.16	-0.78		
C.E.	dS/m	0 - 10 cm	0.21	0.22	-0.01	0	
		10 - 20 cm	0.12	0.11	0.01		
CaCO <sub>3</sub>	%	0 - 10 cm	0	0	0	0	
		10 - 20 cm	0	0	0		
M.O.	%	0 - 10 cm	10.83	9.5	1.33	1.055	
		10 - 20 cm	5.24	4.46	0.78		
P	ppm	0 - 10 cm	9.55	7.9	1.65	0.25	
		10 - 20 cm	6.7	7.85	-1.15		
K	ppm	0 - 10 cm	331.5	262	69.5	61	
		10 - 20 cm	246	193.5	52.5		
Análisis Mecánico	Arena	%	0 - 10 cm	49	48	1	1.5
			10 - 20 cm	41	39	2	
	Limo	%	0 - 10 cm	31	31	0	-1.5
			10 - 20 cm	30	33	-3	
	Arcilla	%	0 - 10 cm	20	21	-1	0
			10 - 20 cm	29	28	1	
Clase Textural	Ar, A, L, Fr, Fr. Ar, Fr. A, Fr. L	0 - 10 cm	Fr	Fr	-	-	
		10 - 20 cm	Fr. Ar	Fr. Ar	-		
C.I.C.	meq/100 g	0 - 10 cm	25.6	20.56	5.04	4.225	
		10 - 20 cm	21.25	17.84	3.41		
Cationes Intercambiables	Ca <sup>+2</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	13.25	12.25	1	-1.295
			10 - 20 cm	3.68	7.27	-3.59	
	Mg <sup>+2</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	2.09	1.61	0.48	0.245
			10 - 20 cm	0.95	0.94	0.01	
	K <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.89	0.77	0.12	0.125
			10 - 20 cm	0.7	0.57	0.13	
	Na <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.21	0.19	0.02	0.015
			10 - 20 cm	0.18	0.17	0.01	
	AL <sup>+3</sup> H <sup>+</sup>	meq/100 g	0 - 10 cm	0.1	0.1	0	0.775
			10 - 20 cm	1.75	0.2	1.55	
Suma de Cationes	meq/100 g	0 - 10 cm	16.52	14.87	1.65	-0.105	
		10 - 20 cm	7.27	9.13	-1.86		
Suma de Bases	meq/100 g	0 - 10 cm	16.42	14.77	1.65	-0.88	
		10 - 20 cm	5.52	8.93	-3.41		
Saturación de bases	%	0 - 10 cm	64	72	-8	-16	
		10 - 20 cm	26	50	-24		
N	%	0 - 10 cm	0.47	0.35	0.12	0.08	
		10 - 20 cm	0.27	0.23	0.04		

Fuente: Elaborada a partir de la tabla 5

## Procedimiento para determinar la densidad aparente

Tabla 12. Valores obtenidos de la densidad Aparente

Muestra	Repetición	Suelo 1	Suelo 2	Volumen N° 1	Volumen N° 2	Densidad
		Peso N° 1	Peso N° 2			
Q - P1	Q-M1-P1	2.9	3.41	2.75	0.57	1.33
	Q-M2-P1	3.16	3.52	2.25	0.40	1.71
Q - P2	Q-M1-P2	4.15	4.41	3.25	0.29	1.40
	Q-M2-P2	4.19	4.47	3.25	0.31	1.43
SQ - P1	SQ-M1-P1	2.25	2.6	2	0.39	1.40
	SQ-M2-P1	2.36	2.62	2	0.29	1.38
SQ - P2	SQ-M1-P2	1.97	2.13	1.75	0.18	1.25
	SQ-M2-P2	2.21	2.46	2	0.28	1.28

**Suelo 1:** es el terrón obtenido al secar el suelo

**Suelo 2:** es el suelo 1 recubierto por parafina.

**Peso N° 1:** Es el peso del suelo 1

**Peso N° 2:** Es el peso del suelo 2.

**Volumen N° 1:** volumen desplazado, es el volumen obtenido al sumergir el peso 2 en una probeta graduada, la cual contiene 30 ml de agua

**Volumen N° 2:** Es el volumen de la parafina.

**Densidad parafina:** 0,9g/ml

### Cálculos Densidad

Para calcular la densidad aparente del suelo se utilizó la ecuación:

$$da = A / (C - B)$$

Donde:

**A=** Peso 1

**B=** Volumen 2; **B=** (Peso 2- peso 1) / Densidad parafina)

**C=** Volumen 1



**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 : MAYRA GABRIELA CASAS TERRONES  
 Departamento : CAJAMARCA  
 Distrito : HUACRARUCO  
 Referencia : H.R. 68113-058C-19

Provincia : HUACRARUCO  
 Predio : HUACRARUCO  
 Fecha : 10/05/19

Bolt.: 2900

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 meq/100g			Suma de Cationes Bases	Suma de Cationes 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>
3713	Q-M1-P1	5.21	0.23	0.00	9.25	9.7	375	50	31	19	Fr.	25.60	11.30	1.90	0.95	0.19	0.05	14.39	14.34	56
3714	Q-M1-P2	4.29	0.13	0.00	5.57	4.9	301	42	31	27	Fr.Ar.	22.40	3.29	0.83	0.80	0.17	1.95	7.05	5.10	23
3715	Q-M2-P1	5.45	0.19	0.00	12.41	9.4	288	48	31	21	Fr.	25.60	15.20	2.27	0.82	0.22	0.15	18.65	18.50	72
3716	Q-M2-P2	4.47	0.10	0.00	4.91	8.5	191	40	29	31	Fr.Ar.	20.16	4.07	1.07	0.60	0.19	1.55	7.48	5.93	29

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

Lab	Número de Muestra Claves	N	
			%
3713	Q-M1-P1	0.43	
3714	Q-M1-P2	0.29	
3715	Q-M2-P1	0.51	
3716	Q-M2-P2	0.24	

*Sady García Bendejún*  
 Jefe del Laboratorio

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

Figura 21. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina - Parte 1



**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 : MAYRA GABRIELA CASAS TERRONES  
 Departamento : CAJAMARCA  
 Distrito :  
 Referencia : H.R. 68113-058C-19

Provincia : HUACRARUCO  
 Predio :  
 Fecha : 10/05/19

Bolt.: 2900

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 meq/100g				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>	
3717	SQ-M1-P2	4.91	0.11	0.00	4.46	8.3	194	40	33	27	Fr.Ar.	17.60	7.49	0.95	0.58	0.16	0.25	9.43	9.18	52
3718	SQ-M2-P2	5.40	0.11	0.00	4.46	7.4	193	38	33	29	Fr.Ar.	18.08	7.04	0.92	0.55	0.17	0.15	8.83	8.68	48
3719	SQ-M1-P1	5.44	0.21	0.00	8.79	6.3	260	46	29	25	Fr.	20.80	12.20	1.60	0.77	0.18	0.10	14.86	14.76	71
3720	SQ-M2-P1	5.50	0.23	0.00	10.21	9.5	264	50	33	17	Fr.	20.32	12.30	1.52	0.76	0.20	0.10	14.88	14.78	73

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

Número de Muestra		N
Lab	Claves	%
3717	SQ-M1-P2	0.23
3718	SQ-M2-P2	0.23
3719	SQ-M1-P1	0.32
3720	SQ-M2-P1	0.37



Figura 22. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina - Parte 2

Complejo..... Serie..... Calicata N° H-01  
 Clasificación natural: Soil Taxonomy..... FAO.....  
 Clasificación Técnica... VII.....  
 Localidad HUACRAZUCO..... Reg. H°..... Reg. T°.....  
 Vegetación o cultivo EUCALIPTO, MUDILLO, HEZECHOS.....  
 Material Madre ARENUSIAS.....  
 Fisiografía LADERA..... Permeabilidad RAPIDA..... Distribución de Raíces 110 CM.....  
 Relieve EMPINADO..... Drenaje BUENO..... Salinidad o Alcalinidad -.....  
 Elevación 2803..... Escurrimiento superficial RÁPIDO..... Pedregosidad Superficial 4.....  
 Pendiente 55%..... Napa Freática NO EXISTE EN LA SECCION DE CONTROL.....  
 Erosión MODERADA..... Humedad.....  
 Notas Adicionales SE ENCONTRO EL PERFIL HUMEDO EN SU TOTALIDAD.....

Fecha:

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA          FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS          LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y PLANTAS</p>	<p>Muestras.....          Foto N°.....</p>
<p><u>COORDENADAS</u></p> <p><u>N: 9192164</u></p> <p><u>E: 781173</u></p>	

Figura 23. Ficha de campo de la calicata H - 01 (anverso)

Horizonte	Profundidad Cm	COLOR		Clase textural	Modificador textural o moteado	Película de arcilla	Estruc- tura	Consistencia			pH	CO <sub>3</sub>	Limite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
A <sub>1</sub>	0-50	-	10YR 3/3	FrA	-	-	B <sub>1</sub> f <sub>1</sub> q <sub>1</sub>	-	fr		60	-	as
B <sub>c</sub>	50-75	-	10YR 3/6	FrA <sub>1</sub> A	-	-	B <sub>1</sub> f <sub>1</sub> m <sub>1</sub>	-	fr		55	-	as
C <sub>1</sub> 1	75-105	-	10YR 3/4	FrA <sub>1</sub> A	-	-	B <sub>1</sub> f <sub>1</sub> m <sub>1</sub> q <sub>1</sub>	-	fr		50	-	as
C <sub>1</sub> 2	7-105	-	10YR 5/3	A <sub>1</sub>	-	-	B <sub>1</sub> f <sub>1</sub> m <sub>1</sub> q <sub>1</sub>	-	fr		45	-	as

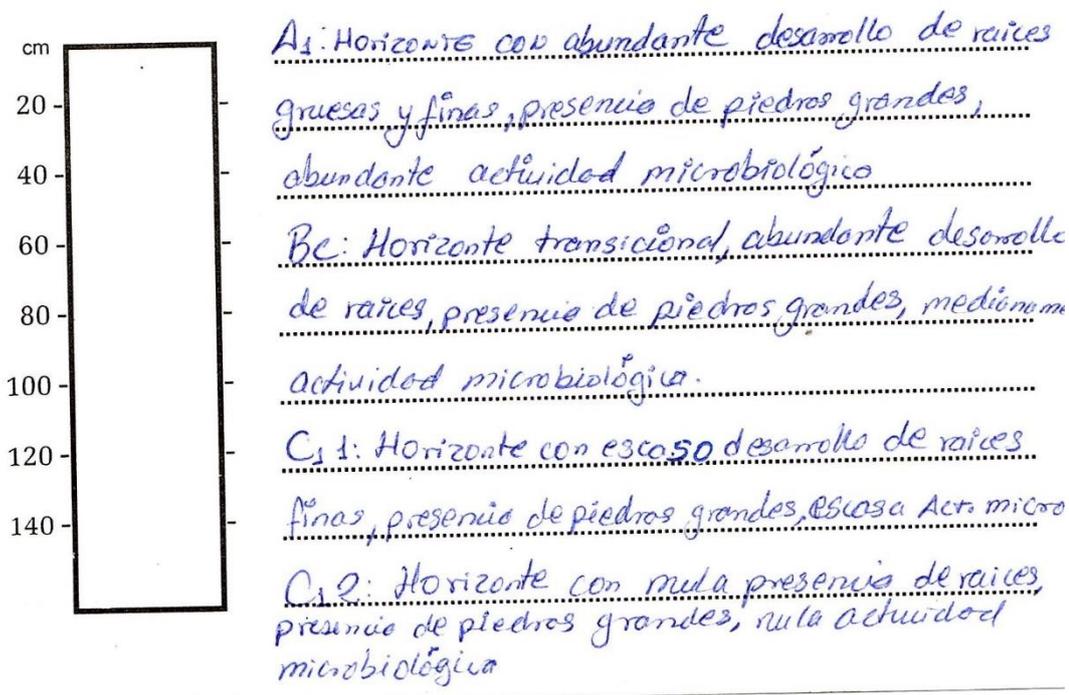


Figura 24. Ficha de campo de la calicata H - 01 (reverso)

Complejo..... Serie..... Calicata N° H-02  
 Clasificación natural: Soil Taxonomy..... FAO.....  
 Clasificación Técnica... VII  
 Localidad HUACRA BUCO Reg. H°..... Reg. T°.....  
 Vegetación o cultivo EUKALPTO, ZARZAMORA, KIKUYO, PIE DE PERRO  
 Material Madre ARENISCAS  
 Fisiografía LADERA Permeabilidad RAPIDA Distribución de Raíces 100 cm  
 Relieve EMPINADO Drenaje BUENO Salinidad o Alcalinidad -  
 Elevación 2905 Escurrimiento superficial RAPIDO Pedregosidad Superficial 3  
 Pendiente 45% Napa Freática NO EXISTE EN LA SECCION DE CONTROL  
 Erosión MODERADA Humedad.....  
 Notas Adicionales... SE ENCONTRO EL PERFIL HÚMEDO EN SU TOTALIDAD

Fecha: 01-05-19

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y PLANTAS

Muestras.....

Foto N°.....

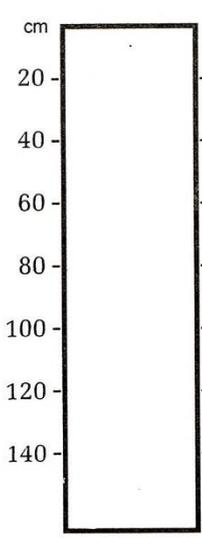
COORDENADAS

N: 9192380

E: 781140

Figura 25. Ficha de campo de la calicata H - 02 (anverso)

Horizonte	Profundidad Cm	COLOR		Clase textural	Modificador textural o moteado	Película de arcilla	Estructura	Consistencia			pH	CO <sub>2</sub>	Limite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
A <sub>1</sub>	0-30	-	10YR 3/1	Fr A <sub>1</sub> A	-	-	Ba <sub>m</sub> g <sub>1</sub>	-	fm	P <sub>1</sub>	60	-	95
B <sub>T2</sub> 1	30-90	-	10YR 2/1	Fr A <sub>1</sub>	-	/	Ba <sub>m</sub> g <sub>2</sub>	-	fm	P <sub>1</sub>	50	-	95
B <sub>T2</sub> 2	>90	-	10YR 3/2	A <sub>1</sub> L	-	/	Ba <sub>m</sub> g <sub>2</sub>	-	fm	P <sub>1</sub>	50	-	-



A<sub>1</sub>: Horizonte con abundante desarrollo de raíces finas y gruesas, abundante actividad microbiana, Presencia de piedras pequeñas.

B<sub>T2</sub> 1: Horizonte con presencia de raíces finas y gruesas, abundante actividad microbiológica presencia de piedras grandes.

B<sub>T2</sub> 2: Horizonte con escaso desarrollo de raíces finas, poca presencia de piedras y poca actividad microbiológica.

Figura 26. Ficha de campo de la calicata H - 02 (reverso)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

### 1. DENSIDAD APARENTE

Tabla 13. Análisis de Varianza de la densidad aparente

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.039200	0.039200	2.14	0.217 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	0.026450	0.026450	1.44	0.296 <sup>NS</sup>
Suelo*Profundidad	1	0.000200	0.000200	0.01	0.922 <sup>NS</sup>
Error	4	0.073300	0.018325		
Total	7	0.139150			

NS: El valor no es significativo

Tabla 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la densidad aparente

Orden	SUELO	Densidad	Significancia
1	Quemado	1.4675	a
2	Sin quemar	1.3275	a

Tabla 15. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la densidad aparente

Orden	Profundidad	Densidad	Significancia
1	0 a 10 cm	1.4550	a
2	10 a 20 cm	1.3400	a

Tabla 16. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la densidad aparente

Orden	PROFUNDIDAD	Densidad	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	1.5200	a
2	Quemado (10 – 20 cm)	1.4150	a
3	Sin quemar (0 – 10 cm)	1.3900	a
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	1.2650	a

### 2. pH

Tabla 17. Análisis de Varianza del pH

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.4186	0.41861	10.04	0.034*
Profundidad	1	0.8001	0.80011	19.18	0.012*
Suelo*Profundidad	1	0.2016	0.20161	4.83	0.093 <sup>NS</sup>
Error	4	0.1669	0.04171		
Total	7	1.5872			

\* El valor es significativo

NS: El valor no es significativo.

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del pH

Orden	SUELO	pH	Significancia
1	Sin quemar	5.312	a
2	Quemado	4.855	b

Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del pH

Orden	Profundidad	pH	Significancia
1	0 a 10 cm	5.400	a
2	10 a 20 cm	4.767	b

**Tabla 20.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del pH

Orden	PROFUNDIDAD	pH	Significancia
1	Sin quemar (0 – 10 cm)	5.470	a
2	Quemado (0 – 10 cm)	5.330	a
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	5.155	a
4	Quemado (10 – 20 cm)	4.380	b

### 3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

**Tabla 21.** Análisis de Varianza de la conductividad eléctrica

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.000013	0.000013	0.03	0.862 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	0.021013	0.021013	57.97	0.002 <sup>**</sup>
Suelo*Profundidad	1	0.000112	0.000112	0.31	0.607 <sup>NS</sup>
Error	4	0.001450	0.000363		
Total	7	0.022588			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 22.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la C.E.

Orden	SUELO	C.E.	Significancia
1	Sin quemar	0.16500	a
2	Quemado	0.16.250	a

**Tabla 23.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la C.E.

Orden	Profundidad	C.E.	Significancia
1	0 a 10 cm	0.21500	a
2	10 a 20 cm	0.11250	b

**Tabla 24.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la C.E.

Orden	PROFUNDIDAD	pH	Significancia
1	Sin quemar (0 – 10 cm)	0.2200	a
2	Quemado (0 – 10 cm)	0.2100	a
3	Quemado (10 – 20 cm)	0.1150	b
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.1100	b

### 4. MATERIA ORGÁNICA

**Tabla 25.** Análisis de Varianza de la materia orgánica

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	2.2260	2.2260	1.43	0.298 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	56.4984	56.4984	36.34	0.004 <sup>**</sup>
Suelo*Profundidad	1	0.1512	0.1512	0.10	0.771 <sup>NS</sup>
Error	4	6.2188	1.5547		
Total	7	65.0946			

NS El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 26.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la M.O.

Orden	SUELO	M.O.	Significancia
1	Quemado	8.035	a
2	Sin quemar	6.980	a

**Tabla 27.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del pH

Orden	Profundidad	M.O.	Significancia
1	0 a 10 cm	10.165	a
2	10 a 20 cm	4.850	b

**Tabla 28.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del pH

Orden	PROFUNDIDAD	M.O.	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	10.830	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	9.500	a
3	Quemado (10 – 20 cm)	5.240	b
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	4.460	b

## 5. NITRÓGENO TOTAL

**Tabla 29.** Análisis de varianza del nitrógeno total

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.012800	0.012800	8.98	0.040*
Profundidad	1	0.051200	0.051200	35.93	0.004**
Suelo*Profundidad	1	0.004050	0.004050	2.84	0.167 <sup>NS</sup>
Error	4	0.005700	0.001425		
Total	7	0.073750			

\* El valor es significativo

\*\* El valor es altamente significativo

NS: El valor no es significativo

**Tabla 30.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del nitrógeno total

Orden	SUELO	Nitrógeno	Significancia
1	Quemado	0.3675	a
2	Sin quemar	0.2875	b

**Tabla 31.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del nitrógeno total

Orden	Profundidad	Nitrógeno	Significancia
1	0 a 10 cm	0.4075	a
2	10 a 20 cm	0.2475	b

**Tabla 32.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del nitrógeno total

Orden	PROFUNDIDAD	Nitrógeno	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	0.4700	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	0.3450	b
3	Quemado (10 – 20 cm)	0.2650	bc
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.2300	c

## 6. FOSFORO

Tabla 33. Análisis de varianza del fósforo disponible

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.1250	0.1250	0.04	0.849 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	4.2050	4.2050	1.40	0.303 <sup>NS</sup>
Suelo*Profundidad	1	3.9200	3.9200	1.30	0.318 <sup>NS</sup>
Error	4	12.0500	3.0125		
Total	7	20.3000			

NS: El valor no es significativo

Tabla 34. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del fósforo

Orden	SUELO	Fósforo	Significancia
1	Quemado	8.125	a
2	Sin quemar	7.875	a

Tabla 35. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del fósforo

Orden	Profundidad	Fósforo	Significancia
1	0 a 10 cm	8.725	a
2	10 a 20 cm	7.275	a

Tabla 36. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del fósforo

Orden	PROFUNDIDAD	Fósforo	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	9.55	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	7.90	a
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	7.85	a
4	Quemado (10 – 20 cm)	6.70	a

## 7. POTASIO

Tabla 37. Análisis de varianza del potasio disponible

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	7442.0	7442.0	3.02	0.157 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	11858.0	11858.0	4.82	0.093 <sup>NS</sup>
Suelo*Profundidad	1	144.5	144.5	0.06	0.820 <sup>NS</sup>
Error	4	9843.0	2460.8		
Total	7	29287.5			

\* El valor no es significativo

Tabla 38. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del potasio

Orden	SUELO	Potasio	Significancia
1	Quemado	288.8	a
2	Sin quemar	227.8	a

**Tabla 39.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del potasio

Orden	Profundidad	Potasio	Significancia
1	0 a 10 cm	296.8	a
2	10 a 20 cm	219.8	a

**Tabla 40.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del potasio

Orden	PROFUNDIDAD	Potasio	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	331.5	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	262.0	a
3	Quemado (10 – 20 cm)	246.0	a
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	193.5	a

## 8. ARENA

**Tabla 41.** Análisis de varianza de las fracciones de arena

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	4.500	4.500	1.29	0.320 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	144.500	144.500	41.29	0.003**
Suelo*Profundidad	1	0.500	0.500	0.14	0.725 <sup>NS</sup>
Error	4	14.000	3.500		
Total	7	163.500			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 42.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de arena

Orden	SUELO	Arena	Significancia
1	Quemado	45.000	a
2	Sin quemar	43.500	a

**Tabla 43.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de arena

Orden	Profundidad	Arena	Significancia
1	0 a 10 cm	48.500	a
2	10 a 20 cm	40.000	b

**Tabla 44.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la fracción de arena

Orden	PROFUNDIDAD	Arena	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	49.00	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	48.00	a
3	Quemado (10 – 20 cm)	41.00	b
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	39.00	b

## 9. LIMO

Tabla 45. Análisis de varianza de las fracciones de limo

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	4.5000	4.5000	1.80	0.251 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	0.5000	0.5000	0.20	0.678 <sup>NS</sup>
Suelo*Profundidad	1	4.5000	4.5000	1.80	0.251 <sup>NS</sup>
Error	4	10.0000	2.5000		
Total	7	19.5000			

NS: El valor es significativo

Tabla 46. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de limo

Orden	SUELO	Limo	Significancia
1	Sin quemar	32.000	a
2	Quemado	30.500	a

Tabla 47. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de limo

Orden	Profundidad	Limo	Significancia
1	10 a 20 cm	31.500	a
2	0 a 10 cm	31.000	a

Tabla 48. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la fracción de limo

Orden	PROFUNDIDAD	Limo	Significancia
1	Sin quemar (10 – 20 cm)	33.00	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	31.00	a
3	Quemado (0 – 10 cm)	31.00	a
4	Quemado (10 – 20 cm)	30.00	a

## 10. ARCILLA

Tabla 49. Análisis de varianza de las fracciones de arcilla

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.000	0.000	0.00	1.000 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	128.000	128.000	11.64	0.027**
Suelo*Profundidad	1	2.000	2.000	0.18	0.692 <sup>NS</sup>
Error	4	44.000	11.000		
Total	7	174.000			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

Tabla 50. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la fracción de arcilla

Orden	SUELO	Arcilla	Significancia
1	Quemado	24.50	a
2	Sin quemar	24.50	a

Tabla 51. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la fracción de arcilla

Orden	Profundidad	Arcilla	Significancia
1	10 a 20 cm	28.50	a
2	0 a 10 cm	20.50	b

**Tabla 52.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la fracción de arcilla

Orden	PROFUNDIDAD	Arcilla	Significancia
1	Quemado (10 – 20 cm)	29.00	a
2	Sin quemar (10 – 20 cm)	28.00	a
3	Sin quemar (0 – 10 cm)	21.00	a
4	Quemado (0 – 10 cm)	20.00	a

## 11. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Tabla 53. Análisis de varianza de la C.I.C.

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	35.955	35.9552	52.50	0.002**
Profundidad	1	24.781	24.7808	36.19	0.004**
Suelo*Profundidad	1	1.280	1.2800	1.87	0.243 NS
Error	4	2.739	0.6848		
Total	7	64.755			

\* El valor es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

Tabla 54. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de la C.I.C.

Orden	SUELO	C.I.C.	Significancia
1	Quemado	23.440	a
2	Sin quemar	19.200	b

Tabla 55. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de la C.I.C.

Orden	Profundidad	C.I.C.	Significancia
1	0 a 10 cm	23.080	a
2	10 a 20 cm	19.560	b

Tabla 56. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de la C.I.C.

Orden	PROFUNDIDAD	C.I.C.	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	25.600	a
2	Quemado (10 – 20 cm)	21.280	b
3	Sin quemar (0 – 10 cm)	20.560	b
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	17.840	c

## 12. CATION Ca<sup>+2</sup>

Tabla 57. Análisis de varianza del catión Ca<sup>+2</sup>

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	3.341	3.341	1.67*	0.266 NS
Profundidad	1	105.924	105.924	52.86	0.002**
Suelo*Profundidad	1	10.511	10.511	5.25	0.084 NS
Error	4	8.015	2.004		
Total	7	127.792			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 58.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de Ca<sup>+2</sup>

Orden	SUELO	Ca <sup>+2</sup>	Significancia
1	Sin quemar	9.758	a
2	Quemado	8.465	a

**Tabla 59.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de Ca<sup>+2</sup>

Orden	Profundidad	Ca <sup>+2</sup>	Significancia
1	0 a 10 cm	12.750	a
2	10 a 20 cm	5.473	b

**Tabla 60.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del catión de Ca<sup>+2</sup>

Orden	PROFUNDIDAD	Ca <sup>+2</sup>	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	13.25	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	12.25	a
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	7.27	b
4	Quemado (10 – 20 cm)	3.68	b

### 13. CATIÓN Mg <sup>+2</sup>

**Tabla 61.** Análisis de varianza del catión Mg <sup>+2</sup>

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.14670	0.14670	5.96	0.071 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	1.54587	1.54587	62.79*	0.001**
Suelo*Profundidad	1	0.12920	0.12920	5.25	0.084 <sup>NS</sup>
Error	4	0.09847	0.02462		
Total	7	1.92024			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 62.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de Mg<sup>+2</sup>

Orden	SUELO	Mg <sup>+2</sup>	Significancia
1	Quemado	1.5167	a
2	Sin quemar	1.2458	a

**Tabla 63.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de Mg<sup>+2</sup>

Orden	Profundidad	Mg <sup>+2</sup>	Significancia
1	0 a 10 cm	1.8208	a
2	10 a 20 cm	0.9417	b

**Tabla 64.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del catión de Mg<sup>+2</sup>

Orden	PROFUNDIDAD	Mg <sup>+2</sup>	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	2.083	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	1.558	b
3	Quemado (10 – 20 cm)	0.950	c
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.933	c

#### 14. CATIÓN K<sup>+</sup>

Tabla 65. Análisis de varianza del catión K<sup>+</sup>

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.030930	0.030930	4.33	0.106 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	0.074954	0.074954	10.48	0.032*
Suelo*Profundidad	1	0.000161	0.000161	0.02	0.888 <sup>NS</sup>
Error	4	0.028600	0.007150		
Total	7	0.134645			

\* El valor es significativo

NS: El valor no es significativo.

Tabla 66. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de K<sup>+</sup>

Orden	SUELO	K <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado	0.7923	a
2	Sin quemar	0.6679	a

Tabla 67. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de K<sup>+</sup>

Orden	Profundidad	K <sup>+</sup>	Significancia
1	0 a 10 cm	0.8269	a
2	10 a 20 cm	0.6333	b

Tabla 68. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del catión de K<sup>+</sup>

Orden	PROFUNDIDAD	K <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	0.8846	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	0.7692	ab
3	Quemado (10 – 20 cm)	0.7000	ab
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.5667	b

#### 15. CATIÓN Na<sup>+</sup>

Tabla 69. Análisis de varianza del catión Na<sup>+</sup>

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.000463	0.000463	2.33	0.201 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	0.001144	0.001144	5.76	0.074 <sup>NS</sup>
Suelo*Profundidad	1	0.000009	0.000009	0.05	0.838 <sup>NS</sup>
Error	4	0.000794	0.000198		
Total	7	0.002410			

NS: El valor no es significativo

Tabla 70. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo del catión de Na<sup>+</sup>

Orden	SUELO	Na <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado	0.19348	a
2	Sin quemar	0.17826	a

Tabla 71. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad del catión de Na<sup>+</sup>

Orden	Profundidad	Na <sup>+</sup>	Significancia
1	0 a 10 cm	0.19783	a
2	10 a 20 cm	0.17391	a

**Tabla 72.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad del catión de Na<sup>+</sup>

Orden	PROFUNDIDAD	Na <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	0.20435	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	0.19130	a
3	Quemado (10 – 20 cm)	0.18261	a
4	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.16522	a

**16. CATIONES ACIDIFICANTES (Al +3 H<sup>+</sup>)****Tabla 73.** Análisis de varianza del catión Al+3 H<sup>+</sup>

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	1.20125	1.20125	53.39	0.002**
Profundidad	1	1.53125	1.53125	68.06	0.001**
Suelo*Profundidad	1	1.20125	1.20125	53.39	0.002**
Error	4	0.09000	0.02250		
Total	7	4.02375			

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 74.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo de los cationes acidificantes (Al +3 H<sup>+</sup>)

Orden	SUELO	Al +3 H <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado	0.9250	a
2	Sin quemar	0.1500	b

**Tabla 75.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad de los cationes acidificantes (Al +3 H<sup>+</sup>)

Orden	Profundidad	Al +3 H <sup>+</sup>	Significancia
1	10 a 20 cm	0.9750	a
2	0 a 10 cm	0.1000	b

**Tabla 76.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad de los cationes acidificantes (Al +3 H<sup>+</sup>)

Orden	PROFUNDIDAD	Al +3 H <sup>+</sup>	Significancia
1	Quemado (10 – 20 cm)	1.750	a
2	Sin quemar (10 – 20 cm)	0.200	b
3	Quemado (0 – 10 cm)	0.100	b
4	Sin quemar (0 – 10 cm)	0.100	b

**17. SUMA DE CATIONES****Tabla 77.** Análisis de varianza de la suma de cationes

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	0.023	0.023	0.01	0.926 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	112.475	112.475	48.06	0.002**
Suelo*Profundidad	1	6.199	6.199	2.65	0.179 <sup>NS</sup>
Error	4	9.361	2.340		
Total	7	128.058			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 78.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Suma de cationes)

Orden	Suelo	Suma de cationes	Significancia
1	Sin quemar	12.000	a
2	Quemado	11.892	a

**Tabla 79.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Suma de cationes)

Orden	Profundidad	Suma de cationes	Significancia
1	0 a 10 cm	15.696	a
2	10 a 20 cm	8.196	b

**Tabla 80.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad (Suma de cationes)

Orden	PROFUNDIDAD	Suma de cationes	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	16.52	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	14.87	a
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	9.13	b
4	Quemado (10 – 20 cm)	7.26	b

## 18. SUMA DE BASES

**Tabla 81.** Análisis de varianza de la suma de bases

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	1.556	1.556	0.68*	0.456 <sup>NS</sup>
Profundidad	1	140.253	140.253	61.39	0.001**
Suelo*Profundidad	1	12.858	12.858	5.63	0.077 <sup>NS</sup>
Error	4	9.138	2.284		
Total	7	163.805			

NS: El valor no es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

**Tabla 82.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Suma de bases)

Orden	Suelo	Suma de bases	Significancia
1	Sin quemar	11.850	a
2	Quemado	10.967	a

**Tabla 83.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Suma de bases)

Orden	Profundidad	Suma de bases	Significancia
1	0 a 10 cm	15.596	a
2	10 a 20 cm	7.221	b

**Tabla 84.** Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad (Suma de bases)

Orden	PROFUNDIDAD	Suma de bases	Significancia
1	Quemado (0 – 10 cm)	16.42	a
2	Sin quemar (0 – 10 cm)	14.77	a
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	8.93	b
4	Quemado (10 – 20 cm)	5.51	b

## 19. SATURACIÓN DE BASES

Tabla 85. Análisis de varianza de la saturación de bases

Fuente Variación	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Suelo	1	502.4	502.40	12.22	0.025*
Profundidad	1	1789.7	1789.70	43.53	0.003**
Suelo*Profundidad	1	133.0	133.02	3.24	0.146 <sup>NS</sup>
Error	4	164.5	41.11		
Total	7	2589.6			

\* El valor es significativo

\*\* El valor es altamente significativo.

NS: El valor no es significativo

Tabla 86. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo (Saturación de bases)

Orden	Suelo	Saturación de bases	Significancia
1	Sin quemar	60.96	a
2	Quemado	45.11	a

Tabla 87. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación a la profundidad (Saturación de bases)

Orden	Profundidad	Saturación de bases	Significancia
1	0 a 10 cm	68.00	a
2	10 a 20 cm	38.08	a

Tabla 88. Prueba de comparación múltiple de Duncan en relación al suelo \* profundidad (Saturación de bases)

Orden	PROFUNDIDAD	Saturación de bases	Significancia
1	Sin quemar (0 – 10 cm)	71.84	a
2	Quemado (0 – 10 cm)	64.15	ab
3	Sin quemar (10 – 20 cm)	50.08	b
4	Quemado (10 – 20 cm)	26.08	c

## PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 27. Vista panorámica del área de estudio - bosque de eucaliptos en Huacraruco



Figura 28. Evidencia del incendio forestal en el bosque de Huacraruco



Figura 9. Calicata H – 01, en el suelo quemado



Figura 10. Lectura de Calicata en el suelo



Figura 11. Medimos las profundidades en las que se van a tomar las muestras



Figura 12. Medimos las profundidades en las que se van a tomar las muestras



**Figura 13.** Cuarteo de la muestra del suelo quemado en la profundidad 0 – 10 cm



**Figura 14.** Cuarteo del suelo en la profundidad 10 – 20 cm



*Figura 35. Etiquetado de las muestras*



Figura 36. Preparación de las muestras para determinar la densidad



Figura 17. Colocación de las muestras en la estufa a una temperatura de 100 °C por 24 horas



Figura 18. Pesado de la muestra



FOTO 19. Sumergimos la muestra de suelo en parafina

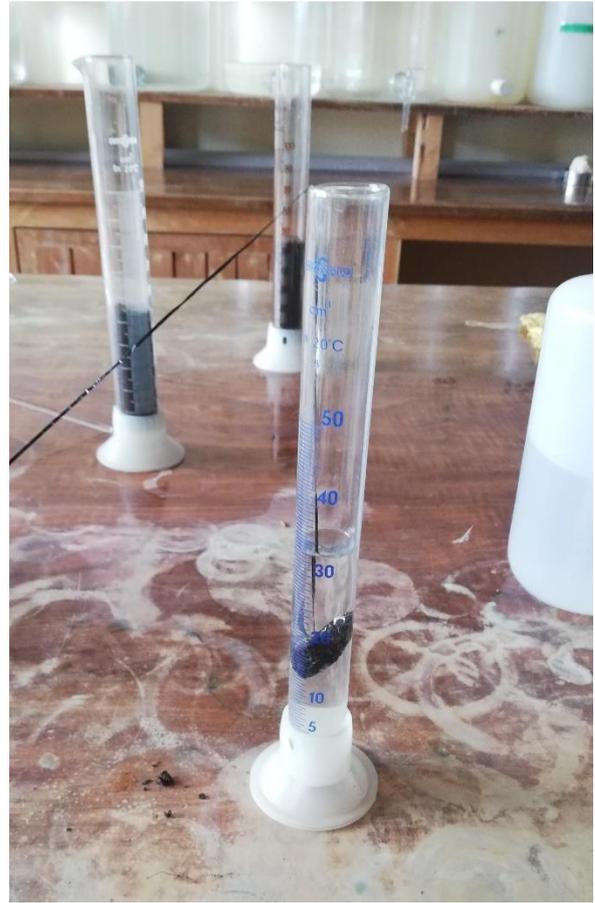


Figura 20. Sumergimos la muestra en una probeta con 30 ml de agua