

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



Efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años del incendio forestal del Bosque de Protección Pagaibamba – Querocoto, Chota.

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Bachiller. Kevin Arnold Rufasto Pérez

Asesor: Mrt. Denisse Milagros Alva Mendoza

CHOTA – PERÚ

JULIO, 2022

Dedicatoria

Con todas las fuerzas de mi ser, a mi madre América Pérez Saucedo, a mi padre Andrés Ruffasto Zabaleta, por todo su apoyo y sus sabios consejos que me han guiado por el camino del bien; a mi querida hija Kihara Gissell Ruffasto Fustamante por ser la motivación de cada uno de mis días.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por la vida, la salud y la sabiduría que me ha dado, por darme esas fuerzas de seguir adelante, a pesar de todos los obstáculos que se han presentado en el camino de la vida.

De igual manera, agradecer infinitamente a mi familia, especialmente a mis padres, Andrés Rufasto Zabaleta y América Pérez Saucedo, por el apoyo económico y los ánimos que siempre me han dado para culminar mi carrera profesional; del mismo modo, agradecer a mis hermanos que de una y otra forma me han brindado su apoyo, contribuyendo con mi formación profesional. A mi hermano Edwin Iván Rufasto Pérez por el apoyo en todo el proceso de mi formación profesional.

A mi asesora de tesis, a la Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por el asesoramiento que me ha brindado.

Índice de contenidos

Contenido	
Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Índice de contenidos.....	4
Índice de tablas.....	7
Índice de figuras.....	7
Índice de anexos	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Planteamiento del problema	10
1.2. Formulación del Problema	11
1.3. Justificación de la Investigación	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo general.....	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes del Estudio	14
2.1.1. A nivel Internacional.....	14
2.1.2. A nivel nacional	15
2.1.3. A nivel regional.....	16
2.2. Bases Teórico - Científicas	17
2.2.1. Bosque.....	17
2.2.2. Suelo	17
2.2.3. Propiedades químicas del suelo	18
2.2.4. Propiedades físicas del suelo	20
2.2.5. Incendio forestal.....	20
2.2.6. Efecto del fuego en el suelo	22
2.3. Marco conceptual	28
2.3.1. Incendio forestal.....	28

2.3.2.	Suelos.....	28
2.3.3.	Bosque.....	28
2.3.4.	Erosión.....	29
2.3.5.	Humus.....	29
2.4.	Hipótesis.....	29
2.5.	Operacionalización de variables.....	30
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		32
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	32
3.2.	Diseño de investigación.....	32
3.3.	Métodos de investigación.....	32
3.3.1.	Trabajo de campo.....	36
3.3.2.	Trabajo de laboratorio.....	38
3.3.3.	Trabajo de gabinete.....	38
3.4.	Población, muestra y muestreo.....	39
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos.....	40
3.5.2.	Instrumentos para la recolección de datos.....	40
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	40
3.7.	Aspectos éticos.....	40
4.1.	Descripción de resultados.....	41
4.1.1.	Análisis estadístico de los resultados.....	41
4.1.2.	pH del suelo.....	44
4.1.3.	Conductividad eléctrica.....	45
4.1.4.	Capacidad de intercambio catiónico.....	46
4.1.5.	Materia orgánica (%) y Nitrógeno total (%).....	47
4.1.6.	Fósforo disponible (ppm).....	49
4.1.7.	Potasio disponible (ppm).....	50
4.1.8.	Textura.....	50
4.1.9.	Densidad aparente.....	52
4.2.	Contrastación de Hipótesis.....	53
4.3.	Discusión de resultados.....	53
4.3.1.	pH.....	53
4.3.2.	Conductividad eléctrica.....	54
4.3.3.	Capacidad de intercambio catiónico.....	55

4.3.4.	Nitrógeno total (%)	56
4.3.5.	Fósforo disponible (ppm).....	56
4.3.6.	Potasio disponible (ppm)	57
4.3.7.	Materia orgánica	58
4.3.8.	Textura	59
4.3.9.	Densidad aparente	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61
5.1.	Conclusiones	61
5.2.	Recomendaciones.....	62

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	30
Tabla 2 Coordenadas UTM y altitud	33
Tabla 3 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	41
Tabla 4 Media \pm desviación estándar de los indicadores evaluados en el suelo.....	42
Tabla 5 corrección de Bonferroni para CE del suelo.....	45

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa de ubicación del BPP</i>	34
Figura 2 Mapa de ubicación de las parcelas muestreadas en el BPP.....	35
Figura 3 Tamaño y forma de la parcela	37
Figura 4 pH del suelo de las parcelas muestreadas.....	44
Figura 5 CE del suelo (mS/m) de las parcelas muestreadas	45
Figura 6 CIC (mEq/100g) y M.O (%) del suelo de las parcelas muestreadas.	47
Figura 7 Relación entre N total (%) y M.O (%) del suelo de las parcelas muestreadas.....	48
Figura 8 P y K disponible (ppm) de las parcelas muestreadas	49
Figura 9 Arena (%), limo (%) y arcilla (%).....	51
Figura 10 Da (g/cm ³) del suelo de las parcelas muestreadas.	52
Figura 11 Foto de la calicata del suelo.....	83
Figura 12 Foto del método del cilindro.....	84
Figura 13 Foto de la toma de muestras	84

Índice de anexos

Anexo 1 <i>Matriz de consistencia interna</i>	68
Anexo 2 Ficha de identificación de las muestras.....	72
Anexo 3 Ficha de reporte de laboratorio.....	72
Anexo 4 ANOVA de parámetros fisicoquímicos del suelo	79
Anexo 5 <i>Prueba de Kruskal Wallis</i>	80
Anexo 6 <i>Prueba de Tukey</i>	80
Anexo 7 Panel fotográfico	83

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el bosque de protección Pagaibamba, Querocoto – Chota, el objetivo fue determinar el efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años de ser afectado por el incendio forestal en el bosque de protección Pagaibamba (BPP) – Querocoto, Chota. El estudio se realizó en áreas de bosque no quemado y bosque quemado, con 6 parcelas de muestreo (3 en bosque sin quema y 3 en bosque quemado), evaluadas a dos profundidades de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm. Considerando entre las propiedades químicas estudiadas al pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N), materia orgánica (M.O), fósforo (P), potasio (K); y las propiedades físicas estudiadas fueron la textura y densidad aparente (Da) del suelo. La significancia estadística que registra el mayor efecto del fuego fue en el pH y K del suelo entre parcelas de estudio, y a nivel de profundidad la significancia estadística se registra la CIC, arena, limo y Da del suelo, la CE que también pertenece al grupo de significancia estadística, disminuye 0,012 mS/m a mayor profundidad en las parcelas sin quema y 0,133 mS/m en las parcelas quemadas. En cuanto al N, M.O, P y arcilla del suelo no se observó significancia estadística.

Palabras clave: suelo, bosque, incendio forestal, propiedades fisicoquímicas del suelo.

Abstract

The present research was developed in the Pagaibamba protection forest, Querocoto - Chota, the objective was to determine the effect of fire on the physical and chemical properties of the soil after 5.5 years of being affected by the forest fire in the Pagaibamba protection forest (BPP) - Querocoto, Chota. The study was conducted in areas of unburned forest and burned forest, with 6 sampling plots (3 in unburned forest and 3 in burned forest), evaluated at two depths of 0 - 10 cm and 10 - 20 cm. Among the chemical properties studied were pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), nitrogen (N), organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K); and the physical properties studied were texture and bulk density of the soil. The statistical significance that registers the greatest effect of the fire was in the pH and K of the soil between study plots, and at the depth level the statistical significance is registered in the CIC, sand, silt and Da of the soil, the EC that also belongs to the group of statistical significance, decreases 0,012 mS/m at greater depth in the plots without burning and 0,133 mS/m in the burned plots. As for soil N, M.O, P and clay, no statistical significance was observed.

Key words: soil, forest, forest fire, soil physicochemical properties.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los incendios forestales causan problemas ambientales a nivel mundial debido a que se producen de manera constante y afectan los recursos naturales y su dinámica como al ciclo de los nutrientes. Debido al aumento de los incendios forestales, en un momento puntual se puede evidenciar la presencia de humo y/o fuego en cualquier parte del planeta.

Sánchez (2019) Los incendios forestales representan problemas ambientales significativos debido a los impactos negativos que genera en el ecosistema y su biodiversidad, así como la emisión de material particulado al ambiente. Estas emisiones contribuyen al calentamiento global ya que al incrementarse la concentración de Gases de Efecto invernadero, provocan un aumento del ozono troposférico y descenso del ozono estratosférico (el primero dañino, el segundo beneficioso), contaminación del aire, etc. (Rosales Sánchez, 2019, p. 1)

Según Pacheco Isasi (2019) menciona que “en nuestro país se evidencia un incremento significativo en la presencia de incendios forestales en departamentos como Cusco, Lambayeque, Arequipa, entre otros” (p. 8).

En investigaciones de Fernández et al. (2010) mencionan que “la concentración de calcio (Ca), (P) y sodio (Na) en cultivos con quema bienal difiere significativamente respecto al cultivo con quema anual, y no existe diferencia en los contenidos de K y magnesio (Mg)” (p. 1). Al incrementarse la severidad del incendio, el nitrógeno total (N total) del suelo disminuye debido a que es un catión volátil (Iglesias, 1993, como se citó en Isasi, 2019). Después de un incendio incrementa el contenido de K en el suelo, esto se atribuye a la ceniza que se forma después de quemar la vegetación; no obstante, cuando la temperatura alcanza los 500 °C el K se volatiliza, y el mismo disminuye si no hay reposición de K (Sánchez et al., 1994, Blank & Zamudio, 1998, como se citó en Isasi, 2019).

Aquellos incendios que afectan extensas superficies de territorio causan efectos ecológicos más negativos que otros de menor magnitud, no sólo porque es más difícil de restaurar el arbolado, sino porque se inicia una fase retrograda en la sucesión vegetal. (Martínez 1996, como se citó en Mataix, 1999).

“El año 2016 se registró un incendio en el Bosque de Protección Pagaibamba (BPP) ubicado en la provincia de Chota, distrito de Querocoto, en este incendio se vieron afectadas gran parte de cobertura natural de bosque” (Chavarry, 2017).

Para Alva (2019) en su investigación realizada en el bosque de Pagaibamba-Chota, indica que la textura del suelo sufrió modificaciones después del incendio forestal; de manera similar, al comparar suelos afectados por incendios con suelos no afectados, las propiedades químicas que aumentaron sus valores incluyen: pH, P disponible, K disponible, Ca, Mg, K cambiante en los primeros 10 cm y saturación de bases. Las propiedades químicas cuyos valores disminuyeron al comparar suelos afectados por incendios con suelos no afectados incluyeron: Aluminio, MO, N, CIC, acidez de cambio.

Ha transcurrido cinco años y medio desde la ocurrencia del incendio forestal y no se ha dado a conocer los efectos causados en suelo, específicamente las propiedades físicas y químicas, el suelo pudo haber sufrido diferentes alteraciones, lo que pueden afectar el desarrollo del ecosistema. Esta investigación que se desarrolló supone una contribución con avances del conocimiento de las alteraciones causadas por el fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años del incendio forestal del BPP – Querocoto, Chota?

1.3. Justificación de la Investigación

En la provincia de Chota se evidencia constantes incendios forestales, sobre todo en la época seca, incendios que en su mayoría son provocados de manera intencional o accidental en prácticas agrícolas inadecuadas.

Las propiedades físicas y químicas en el suelo varían en el tiempo, luego de un incendio estos pueden incrementar o disminuir su concentración. Es indispensable conocer el efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo, puesto que ellos representan los nutrientes necesarios para la recuperación de la vegetación y, por consiguiente, la recuperación del ecosistema.

Con la presente investigación se pretende conocer el efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo, después de cinco años y medio del incendio forestal del BPP – Querocoto; de tal manera saber cuáles son las condiciones en las que se encuentra actualmente el suelo de este bosque, y con la presente investigación obtener los datos reales. Se sabe que las propiedades físicas y químicas en estudio son esenciales para el buen desarrollo de las especies vegetales y el ecosistema.

La información que deriva de la investigación servirá de bases científicas para la toma de decisiones en temas de recuperación de ecosistemas, se generará nueva información de la dinámica de nutrientes en ecosistemas boscosos montanos, además de aportar con información para sensibilizar a poblaciones locales respecto al efecto de los incendios forestales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años de ser afectado por el incendio forestal en el BPP – Querocoto, Chota.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar las propiedades físicas y químicas en el suelo afectado por el incendio forestal en el BPP.

Conocer las propiedades físicas y químicas en el suelo no afectado por el incendio forestal del BPP.

Comparar las propiedades físicas y químicas del suelo que ha sido afectado por el incendio forestal, con las propiedades físicas y químicas del suelo que no ha sido afectado por el incendio forestal.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. A nivel Internacional

Khouri & Oliveira (2006) realizaron evaluaciones una hora antes del fuego prescrito, inmediatamente después del fuego y posteriormente a los 7, 30 y 90 días, a profundidades de 0-2, 2-5 y 5-10 cm de profundidad utilizando una sonda holandesa en un recorrido en zig-zag. En sus resultados indican que el impacto del fuego en el suelo fue favorable para la disponibilidad de cationes pues indujeron un incremento temporal en la fertilidad del suelo (el C, N, K, Ca, Mg y P asimilable se incrementaron, sobre todo este último). Manifiestan también que justo después del incendio disminuyó el porcentaje arcilla y se incrementó el porcentaje de arena. Concluyeron que el incremento temporal de los cationes en el suelo quemado, sobre todo el P asimilable, podría ser aprovechado para la instalación y proliferación de vegetación remanente.

Hidalgo et al. (2000) aplicaron dos fuegos prescritos con el fin de evaluar su influencia en el contenido de nutrientes en el suelo, componentes del suelo y la cubierta orgánica en pinares andaluces. Evaluaron en cinco momentos, inmediatamente después aplicar los tratamientos, dos y cuatro años después de la quema, y después de aplicar el primer y segundo fuego. La M.O del suelo, relación carbono/nitrógeno y pH, en los primeros cinco centímetros del suelo mineral, fueron poco afectados por los tratamientos; sin embargo, se registró un decrecimiento significativo del total de M.O y de la tasa C/N transcurridos dos años desde quemas. Concluyeron en la investigación que el fuego causa alteración de la concentración de nutrientes en suelo mineral en pinares de P. pinaster.

Manna & Barroetaveña (2011) estudiaron un área afectada por el incendio y que posteriormente fue cubierta por ceniza volcánica. Para la investigación realizaron un muestreo compuesto del suelo mineral a 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad. Sus resultados

indican que, considerando el grado de afectación, nueve meses más adelante del incendio no se evidencian diferencias significativas en la vegetación herbácea y arbustiva; no obstante, pudieron observar que la vegetación herbácea y arbustiva en bosques de *N. antarctica* disminuye significativamente y que en los bosques de *A. chilensis* las herbáceas aumentaron luego del fuego lo cual puede ser casado por el incremento de radiación en el sotobosque. Referente a los cambios en las propiedades químicas del suelo registraron que en los primeros cinco centímetros existe incrementos significativos en el pH, azufre y CE, de igual manera disminuye la concentración de M.O, CIC, N total y Na.

2.1.2. A nivel nacional

Cáceres (2018) registró pH máximos de 5,52 en suelos sin incidencia del fuego a profundidades de 0 - 5 cm y pH mínimos de 5,45 a profundidades de 0 - 5 cm en suelos afectados por el fuego, también observó aumentos el P disponible en suelos afectados por el fuego, alcanzando valores máximos de 3,4 ppm para los cinco centímetros superiores de áreas quemadas y valores mínimos de 2,15 ppm en un rango de profundidad de 5 - 10 cm de profundidad en áreas no quemadas. Para el K disponible sus valores fueron de 176,6 ppm a una profundidad de 0 - 5 cm en áreas quemadas y valores mínimos de 87,5 ppm a profundidades de 5 - 10 cm de profundidad. El autor concluye que el fuego no causa efecto en la arcilla y arena del suelo, pero si en el limo, el cuál disminuyó su concentración en particular para la capa de 5 - 10 cm.

Gaspar (2012) evaluó dos condiciones de estudio denominadas Cuadrado Sin Quema (CSQ) y Cuadrado con Quema (CQ), instaló transectos para tomar muestras en el CSQ antes del fuego y después de tres días de transcurrido el mismo. Encontró diferencias estadísticas significativas en el pH del suelo antes (4,54 en CSQ) y después de la quema (4,29 en CQ). Respecto a la concentración de P no registró diferencia significativa (p -valor=0,0588) entre áreas, observando una ligera disminución luego de la quema (4,32 ppm) respecto a la

evaluación antes de la quema (5,82 ppm), en ambos casos, el suelo es considerado como áreas con muy limitado contenido de P disponible. No se registró diferencia significativa (p-valor=0,6343), para el K disponible, reportándose 164 kg.ha⁻¹ antes de la quema y un incremento luego de la quema (176 kg.ha⁻¹). El investigador concluye que la tala y quema de purmas a corto plazo no afecta la cantidad de carbono orgánico, el P y K disponible del suelo.

2.1.3. A nivel regional

Casas (2019) determinó los impactos en el color, Da del suelo, en el pH, textura, M.O, CE, CIC, K disponible, carbonatos, P disponible, cationes intercambiables y N total; ocasionados por el incendio forestal transcurridos ocho meses del incendio forestal, en Huacraruco, provincia Cajamarca a profundidades entre 0-10 cm y 10 – 20 cm. Registró 9,55 ppm y 6,70 ppm de P a profundidades de 0-10 cm y de 10-20 cm respectivamente, en suelo quemado, mientras que en suelo no quemado la concentración de P fue de 7,90 ppm y 7,85 ppm, respectivamente. Respecto al K, en suelo quemado la concentración fue de 331,50 ppm y 246,00 ppm a una profundidad de 0-10 cm y de 10-20 cm, respectivamente, y para el suelo sin quema fue de 262,00 ppm y 193,50 ppm. El nitrógeno (N) del suelo también sufrió variaciones, registrando 0,47 % y 0,27 % para las profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm en suelo quemado. Para el suelo no quemado, la concentración de N fue de 0,25 % con 0-10 cm de profundidad y 0,23 % con 10 – 20 cm de profundidad. El autor concluye que el incendio forestal incrementó la Da del suelo y que no existió efecto en el color y textura.

Alva & Manosalva (2019) realizaron una investigación en áreas afectadas por incendios en el Cañón de Sangal, provincia de Cajamarca y analizaron el efecto del incendio forestal en las propiedades fisicoquímicas del suelo luego de tres meses acaecido el incendio forestal. Instalaron parcelas de 40 m² en las que realizaron un muestreo compuesto por cinco submuestras a intervalos de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad en tres áreas quemadas y tres no quemadas. Las áreas de muestreo fueron seleccionadas según el tipo de suelo, la

pendiente, la intensidad del fuego y exposición a la radiación. Encontraron que el N en los primeros 10 cm de profundidad tiene una concentración 0,38 % en el área sin quemar y en el suelo parcialmente quemado 0,68 % y en el suelo completamente quemado presentó 0,54 %; para el P, en áreas sin quemar obtuvieron como resultado 4,50 ppm, en el suelo parcialmente quemado 5,00 ppm y en el suelo completamente quemado fue 6,20 ppm; para el K en la parcela no quemada fue 594,67 ppm, en la zona parcialmente quemada fue de 629,00 ppm y en la zona completamente quemada fue de 890,00 ppm. Los autores concluyeron que, transcurridos tres meses desde el incendio forestal, la alteración de las propiedades del suelo se evidencia principalmente en los primeros 10 cm de profundidad.

Según Alva (2019) observa que después de tres años del incendio forestal, el suelo de la parte quemada se vio alterado en las propiedades químicas y físicas, siendo más nocivo en los 10 cm de suelo superiores, investigación realizada en el Bosque de Protección Pagaibamba.

2.2. Bases Teórico - Científicas

2.2.1. Bosque

Es importante saber que los bosques son muy diversos y se caracterizan no solo por el número de especies existentes, sino también por la distribución de tamaños de los árboles. Sin embargo, es importante recordar que una gran proporción de los bosques del mundo son regulares o semirregulares, es decir, están formados por árboles que pertenecen a la misma clase de edad o puede ser a dos clases de edad consecutivas. (Gadow *et al.*, 2007, pp. 2–152)

2.2.2. Suelo

Petre et al. (2012) sostienen que el suelo son formaciones de origen natural que encontramos en la intersección de la litosfera, la hidrosfera, la biosfera y la atmósfera. Estos son el resultado de diferentes respuestas a los factores ambientales, principalmente el clima, la biota, las rocas y las formaciones geológicas, en las que también se encuentran las

actividades humanas. En los suelos podemos encontrar componentes minerales y orgánicos en diferentes estados (estado sólido, líquido y gaseoso), los cuales están interconectados en diferentes niveles de organización con variación espacial (vertical y lateral) así como variación temporal (desde horarias, estacionales hasta centenarias y aún milenarias).

2.2.3. Propiedades químicas del suelo

2.2.3.1. pH. El valor de pH es una propiedad química cuya función principal es medir la acidez y la alcalinidad de una solución acuosa. Es así como definen y/o consideran el pH como el logaritmo negativo de la actividad del protón (H⁺) en una solución acuosa. En el suelo, el pH se considera una propiedad química muy importante porque nos dice qué tan ácida o alcalina es una solución del suelo, que es de donde las raíces y los microbios del suelo obtienen sus nutrientes (Osorio, 2012).

2.2.3.2. El nitrógeno. Apolinar *et al.* (2016) afirman que la cantidad y formas del N en el suelo cambia constantemente debido a los procesos edáficos, físicos, químicos y biológicos del suelo, al igual forma el N puede incorporarse en el suelo desde la atmósfera a través de la deposición húmeda y seca del N, fertilizantes orgánicos y sintéticos, y fijación del N. Se menciona que el N en cultivos de maíz mejora la composición de proteica de los granos, pero su uso excesivo es perjudicial para la salud humana.

2.2.3.3. Fósforo. Según Galantini et al. (2006) afirma que “el P en el suelo se combina con otros elementos para formar complejos minerales (P inorgánico) o en compuestos orgánicos (P orgánico), debido a ello no existe en forma elemental” (p. 65), por otro lado Lozano et al. (2012) mencionan que “el P proviene de múltiples fuentes naturales y antropogénicas, y su comportamiento y destino en suelos naturales y cultivados varía ampliamente” (p. 821). También al P “se considera en segundo lugar de los elementos (después del N) con mayor importancia para el desarrollo de los vegetales, la producción de los cultivos y su calidad” (Alamgir *et al.*, 2012, como se citó en Lozano *et al.*, 2012, p. 821).

2.2.3.4. Potasio. Según Guy (2017, como se citó en Sánchez, 2018) menciona que el potasio es un nutriente esencial, un macronutriente necesario para el crecimiento y la reproducción de las plantas. Se considera el segundo después del nitrógeno cuando se trata de los nutrientes que necesitan las plantas y generalmente se considera un nutriente de calidad. El potasio afecta la forma, el tamaño, el color y el sabor de la planta, así como otras métricas atribuibles a la calidad del producto.

2.2.3.5. Capacidad de intercambio catiónico. Soriano (2018) menciona que la CIC del suelo depende del porcentaje de M.O y arcilla que contenga, dado que la arcilla se considera el elemento más abundante, realmente es el elemento que más influye en la capacidad total de cambio, considerando que estos valores se dan en función de la cantidad de arcilla, también pueden variar según el tipo de esta (vermiculitas, illitas, montmorillonita, etc.) porque unos tienen mejor capacidad de fijación que otros. También existen definiciones “que la C.I.C. es la sumatoria del total de cationes intercambiables que puede adsorber un suelo” (Ulivarri et al., 2010, p. 2).

2.2.3.6. Conductividad eléctrica. Según Bosch et al. (2012) menciona que la CE de un suelo es la capacidad de conducir una corriente eléctrica, que depende de la cantidad de iones positivos y negativos que se encuentran en la solución del suelo, por eso la CE de una solución del suelo es un indicador del contenido de sales.

2.2.3.7. Materia orgánica. Según Brechelt (2004) afirma que la M.O del suelo está conformado por todo tipo de residuos orgánicos (vegetal o animal) que es incorporado al suelo. Los nutrientes como N, P, K y otros, se consideran minerales sustanciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

2.2.4. *Propiedades físicas del suelo*

2.2.4.1. Densidad aparente. Según Pinot (2000, como se citó en Rubio, 2010) afirma que a la Da del suelo “se entiende como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso” (p. 15); por otro lado Folegatti et al. (2001, como se citó en Salamanca, A., & Sadeghinan, 2006) mencionan que la Da “es una propiedad del suelo ampliamente utilizada en la agricultura, relacionada principalmente con las prácticas de manejo de los suelos y de las aguas” (p. 2).

2.2.4.2. Textura. Las texturas se utilizan para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término de textura corresponde a una composición cuantitativa dada de arena, limo y arcilla. En cuanto a la textura, se prescinde de los contenidos de grava, se refiere a la porción de suelo estudiada en un laboratorio de análisis de suelo, llamada suelo fino (USDA, 1986, como se citó en Garay & Ochoa 2010).

2.2.5. *Incendio forestal*

Para la International Standards Organization [ISO] (1987; Cox, 1995, como se citó en Zárate, 2004) afirman que un incendio forestal es aquel proceso de combustión, caracterizado por el desprendimiento de calor sumado de humo, llamas o ambos. Además, también se

puede conocer como combustión que se propaga de manera violenta en el tiempo y el espacio.

Hay transferencia de calor en los incendios forestales; el calor generado durante la combustión del combustible del suelo (por ejemplo, hojarasca, estiércol, vegetación muerta y viva) se transfiere la superficie a través de varios procesos de transferencia de calor (vaporización, conducción, radiación, convección y condensación) (Pierson et al., 2005).

La profundidad y magnitud del calentamiento del suelo, ocurre cuando el calor se transporta hacia abajo y a través el suelo, elevando la temperatura del suelo. Los mayores aumentos de temperatura ocurren en o cerca de la superficie del suelo. Sin embargo, dentro de una distancia corta en el suelo, la temperatura desciende rápidamente de modo que dentro de 2,0 a 3,9 pulgadas de la superficie del suelo las temperaturas están por encima de la temperatura ambiente. La magnitud de estos aumentos de temperatura depende de la gravedad del incendio, y el tiempo de permanencia del fuego es un factor particularmente importante en los incendios, ya que afecta la profundidad y la magnitud del calor geotérmico (Pierson et al., 2005).

2.2.5.1. Clases de incendio forestal

2.2.5.1.1. Incendios superficiales. Rodríguez (2010) manifiesta que estos incendios se propagan a nivel del suelo forestal, dejando como residuos los restos vegetales no descompuestos, entre ellos destacan las hojas, arbustos, gramíneas y ramas caídas, existe también otros materiales hasta casi 1,80 m de altura. Este tipo de incendios en muchas ocasiones pueden quemar árboles enteros, en cuanto el fuego sube por el fuste hasta la copa del árbol.

2.2.5.1.2. Los incendios subterráneos. Rodríguez (2010) afirma que en gran mayoría los incendios subterráneos se propagan a través de capas de humus y turba que se encuentran en el suelo mineral y por debajo del piso del bosque pues este autor menciona que tales incendios ocurren mayormente en bosques que poseen una alta acumulación de humus. Casi siempre son el producto de los incendios superficiales.

Cabe resaltar también que su intensidad de calor y el grado de destrucción son muy elevados, dañando la microbiología y la fertilidad del suelo, y dejando con mayor facilidad al suelo para ser erosionado.

2.2.5.1.3. Los incendios de copa. Rodríguez (2010) menciona que estos incendios se caracterizan debido a que el fuego se propaga a través de las copas de árboles, de manera independiente del incendio superficial. Son considerados porque ocurre en combustibles por encima de 1,80 m de altura. Estos incendios se originan tras en producto de los incendios superficiales, actuación de los rayos.

2.2.6. Efecto del fuego en el suelo

Para Minervini *et al.* (2018) indican que “algunas propiedades físicas del suelo afectadas por el fuego son la capacidad de agregación, volumen de espacio poroso y capacidad de retención y dinámica del agua causados por la alteración de los componentes orgánicos y minerales del suelo” (p. 13); por otro lado Solera (1999, como se citó en Solera

& Guerrero, 2013) mencionan que el suelo es uno de los componentes ambientales más impactados negativamente por el fuego evidenciándose una alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas indican también que configuración del ecosistema luego de un incendio como nuevo microclima e incorporación y posterior lavado de ceniza también impacta las propiedades del suelo dado que los suelos quedan más susceptibles ante la erosión hídrica y eólica; y Solera & Guerrero (2013) aclaran que las alteraciones del ecosistema tienen múltiples efectos, pudiéndose acelerar o pausar el desarrollo de la vegetación, en la primera situación, el suelo queda más susceptible ante los agentes erosivos. Los cambios que se producen en un suelo luego de un incendio forestal están en función de la severidad del mismo, siendo más perjudiciales los incendios severos.

Solera & Doerr (2004, como se citó en Solera & Guerrero, 2013) afirman que un impacto frecuente en las propiedades físicas del suelo es la repelencia al agua causado por la vaporización de sustancias orgánicas y posterior condensación a una profundidad del suelo donde la temperatura es más baja y la consiguiente formación de una capa hidrofóbica; este fenómeno es más evidente en suelos arenosos con pH bajos, además de haber sido observados en suelos con texturas francas y pH elevados. Los efectos del fuego pueden presentarse en periodos largos de tiempo, generalmente durante algunos años, cooperando con el aumento de la escorrentía, esperando ya en muchos casos un peligro de la erosión del suelo.

2.2.6.1. Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo. Minervini et al. (2018) afirman que “cuando se produce el fuego, en el suelo se produce de manera más rápida la mineralización de la M.O o su eliminación del sistema, produciendo por consiguiente impactos negativos en la biología del suelo” (p. 14), es así que Khouri & Prendes (2006) con respecto al N total afirman que este incrementa su concentración en los primeros centímetros inmediatamente después del incendio y a los 7 días, cuando realizó su análisis para la capa subsuperficial (5-10 cm), observó que disminuye sucesivamente hasta llegar al 0,08 % a los 90 días; por otro lado Manna et al. (2011) en su investigación encontraron que en los primeros cinco centímetros del suelo afectados por incendios se incrementa de pH y CE, y disminuye los contenidos de M.O, CIC, N total y sodio; en cambio a profundidades de 5-10 cm disminuye el N total y la M.O y se incrementa el azufre.

2.2.6.1.1. Modificaciones en el pH. Gaspar (2012) en sus investigaciones llevadas a cabo después de tres días de haberse realizado la quema en un bosque secundario encontraron igualdad estadística en el nivel de pH de las áreas sin quema y con quema. Cabe indicar que registraron una ligera disminución del pH después de la quema, de 4,54 a 4,29 de pH. Finalmente debido a este resultado final ya se caracterizó al suelo como extremadamente ácido.

2.2.6.1.2. Modificaciones en el fósforo. Después de haberse dado un incendio forestal, el análisis del P asimilable y en todas las profundidades estudiadas, justo después de la quema, se observan aumentos extraordinario estadísticamente significativo ($F = 116,457$; $p < 0,001$) debido al incremento de las temperaturas capaces de mineralizar el P orgánico más la adición de P por parte de la combustión de la vegetación (Romanyá et al. 1994, como se citó en Khouri, A., & Prendes, 2006).

2.2.6.1.3. Modificaciones en el nitrógeno total. Casas (2019) en su trabajo de investigación al momento de realizar el análisis comparativo entre el suelo sin quemar que actuó como patrón y con el suelo quemado, teniendo en cuenta las profundidades, lograron determinar en el suelo quemado con profundidad de muestreo de 0 – 10 cm el N total tiene un incremento del 0,12 %; lo mismo que ocurrió en los resultados obtenidos del suelo quemado, cuando fue evaluado con una hondura de 10 – 20 cm, presentando un alza del 0,04 % en el mismo suelo.

2.2.6.1.4. Modificaciones en la capacidad de intercambio catiónico. Hepper et al. (2008) realizaron muestreos en ecosistemas del Caldenal, en un suelo franco y otro franco arenoso con *Stipa ichu* como vegetación dominante y presencia de *Prosopis caldenia* y *Condalia microphyla*.

Observaron que el suelo franco arenoso es más susceptible a los impactos del calor de los incendios, registrando cambios en las fracciones de arena cuando la temperatura supera los 200 °C debido a la cementación de la arena muy fina y aportando en el porcentaje de la arena gruesa. En suelos francos se reportaron incremento en la concentración de cationes intercambiables y en la CIC, disminuyendo significativamente ($p < 0,05$) este último en suelos franco arenosos, en donde la temperatura supera los 400 °C, coincidentemente con las disminuciones de la fracción de arcilla a temperaturas por encima de los 500 °C en suelos

francos. La disminución de la CIC se relaciona a la disminución de la cantidad de arcilla en el suelo, pues es esta fracción granulométrica la que aporta mayor CIC.

2.2.6.1.5. Modificaciones en la conductividad eléctrica. Después del fuego, la CE y la salinidad también aumentan significativamente debido a la incorporación y solubilización de cenizas. Hay que decir que estos iones liberados pueden mejorar la fertilidad en la mayoría de los casos, pero en otros casos pueden causar problemas porque se puede inhibir la absorción de ciertos nutrientes por problemas antagónicos surgidos de la acumulación de elementos minerales (DeBano et al., 1977; Hernández et al., 1997, Carballas, 1993; Badía y Martí, 2003; Kutiel & Inbar, 1993, como se citó en Mataix-Solera & Guerrero, 2013).

2.2.6.1.6. Modificaciones en la materia orgánica. Según Brechelt (2004) menciona que M.O del suelo está conformado por todo tipo de residuos orgánicos (vegetal o animal) que es incorporado al suelo. Los nutrientes como el N, P, K y otros, se consideran minerales sustanciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Manna *et al.* (2011) afirman que después de un incendio forestal en las profundidades evaluadas de 0-5 cm y 5-10 cm, la concentración de M.O disminuyen en el bosque quemado en comparación con el control. Alrededor del 99 % del N ligado en el suelo está contenido en M.O, de forma tal que producido el incendio forestal ya se genera pérdidas de la M.O y en consecuencia de esta pérdida por efecto del fuego se produce la disminución del N total. Dentro de los 5 primeros centímetros la concentración de N del control fue significativamente mayor que en el bosque muy quemado, pero a los 10 cm el control difirió significativamente de ambas condiciones de fuego. Casas (2019) en su trabajo de investigación al momento de realizar los análisis comparativo entre el suelo sin quemar que actuó como patrón y con el suelo quemado, teniendo en cuenta las profundidades que fueron elegidas para su estudio, lograron determinar en el suelo quemado con profundidad de muestreo de 0 – 10 cm el N

total tiene un incremento del 0,12 % ; lo mismo que ocurrió en los resultados obtenidos del suelo quemado, cuando fue evaluado con una hondura de 10 – 20 cm, presentando una alza del 0,04 % en el mismo suelo.

2.2.6.2. Efecto del fuego en las propiedades físicas del suelo. Según Capulín *et al.* (2010) mencionan que “las propiedades físicas más afectadas luego de una quema son el color y la capacidad de conservar la humedad, así como la estructura del suelo” (p. 80); asimismo Minervini *et al.* (2018) manifiestan que en suelos quemados se incrementa la hidrofobicidad y por tanto se disminuye la capacidad de infiltración del agua y se incrementa el riesgo de erosión. El incremento de temperatura de larga duración en un incendio forestal genera pseudo-texturas más gruesas en horizontes superficiales del suelo debido a la fusión de partículas pequeñas del suelo, sobre todo arcillas.

2.2.6.2.1. Modificaciones en la densidad aparente. Según Minervini *et al.* (2018) consideran que “La pérdida de agregados reduce producto del fuego e incrementa la Da (la relación entre el volumen de los poros y el volumen total de la muestra)” (p. 4) ; de igual manera, en Yungas Jujeñas, Minervini *et al.* (2014, como se citó en Minervini *et al.*, 2018) encontraron que la Da fue la propiedad física más afectada por el fuego, hubo un aumento significativo en los primeros 10 cm de espesor del suelo, y se determinó una estrecha relación lineal inversa entre los contenidos de C orgánico y Da indicando que la pérdida de MO por combustión hizo reducir la porosidad de estos suelos.

2.2.6.2.2. Modificaciones en la textura. Según Gallego et al. (2013) mencionan que los componentes de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) tienen umbrales de temperatura altos y generalmente son inmunes al fuego a menos que se vean afectados por las altas temperaturas de la superficie del suelo (horizonte A).

La parte más sensible de la textura es la arcilla, que comienza a cambiar alrededor de los 400°C y llega a destruirse por completo entre los 700 y los 800°C. con poca frecuencia. Para lograr afectaciones en la arena o el limo se requerirían temperaturas superiores a los 1414 °C, situaciones que raramente se presentan (Beysers et al., 2008, como se citó en Gallego et al., 2013).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Incendio forestal

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP] (2016, como se citó en Casas, 2019) afirma que un incendio forestal es aquel fuego que se ocasiona en bosques nativos o plantados, producto de la naturaleza o provocado por el hombre, este avanza sin ningún control, dejando como resultado efectos negativos en el ambiente, entre ellos pueden estar los daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales.

2.3.2. Suelos

Los suelos son capas más o menos continuas de material suelto que forman la parte más externa de la corteza terrestre y están compuestos de minerales, MO, agua, gases y seres vivos (Aguirre, 2010).

2.3.3. Bosque

El bosque es una asociación vegetal en la que el estrato dominante es el arbóreo (Petre et al., 2012).

Según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], (2015) define al bosque como un ecosistema dominado por especies de árboles en cualquier etapa de

desarrollo, con una cubierta de dosel de más del 10% en condiciones áridas o semiáridas y más del 25% en condiciones más favorables.

2.3.4. Erosión

Existen definiciones donde aclaran que “la erosión es la degradación o abrasión de partes de la superficie del suelo por el flujo de agua, viento, hielo u otros factores geológicos, estando dentro de estos procesos el deslizamiento gravitacional” (Ulivarri *et al.*, 2010, p. 4).

2.3.5. Humus

El humus es la parte más o menos estable de la M.O del suelo, producto de la descomposición de la mayoría de los residuos vegetales y animales del suelo, se menciona que tiene colores oscuros (Ulivarri *et al.*, 2010).

2.4. Hipótesis

H0: no existe efectos significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo forestal del BPP – Querocoto después de 5,5 años del incendio.

H1: existe efectos significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo forestal del BPP – Querocoto después de 5,5 años del incendio.

2.5. Operacionalización de variables

La investigación presenta como variable dependiente a las propiedades físicas y químicas del suelo y como variable independiente al incendio forestal, como se evidencia en la Tabla 1

Tabla 1

Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variable	Niveles	Indicador	Unidad de medida
Determinar las propiedades físicas y químicas en el suelo afectado por el incendio forestal en el BPP.	Dependiente	Parámetros físicos	Propiedades físicas	
	Propiedades físicas y químicas		Da	g/cm ³
			Textura	(%)
		Parámetros químicos	Propiedades químicas	
		pH	...	
		CIC	mEq/100g	
		CE	mS/m	
		P, K	ppm	
	M.O	(%)		
	N	(%)		
	Independiente	Presencia y ausencia del incendio forestal		

<p>Conocer las propiedades físicas y químicas en el suelo no afectado por el incendio forestal del BPP.</p>		
<p>Comparar las propiedades físicas y químicas del suelo que ha sido afectado por el incendio forestal, con las propiedades físicas y químicas del suelo que no ha sido afectado por el incendio forestal.</p>	<p>Incendio forestal</p>	

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es tipo cuantitativa, pues es secuencial y probatoria, utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Ello se enmarca en lo especificado por Hernández - Sampieri & Mendoza (2018) a una investigación cuantitativa.

La presente investigación se atribuye a un nivel descriptivo, la cual, según Hernández - Sampieri & Mendoza (2018) esta busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice y describe tendencias de un grupo o población.

3.2. Diseño de investigación

Es de diseño no experimental, pues se evaluaron datos numéricos derivados de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en dos condiciones de estudios (suelo afectado y no afectado por el fuego) generadas de manera natural, sin intervención del investigador. Es de corte transversal pues se evaluó el suelo en un momento puntual. Concuerta con Hernández - Sampieri & Mendoza (2018) donde especifican que una investigación no experimental son los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

3.3. Métodos de investigación

Localización.

El presente estudio se desarrolló en el Bosque de Protección de Pagaibamba (BPP) (Figura 1), en áreas afectadas por un incendio forestal del año 2016, y las áreas no quemadas. El BPP está ubicado en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, al norte del Perú, con elevaciones que van que van desde los 2400 metros en el

punto más bajo hasta los 3511 metros en el punto más alto, en las laderas del cerro Ocshaulca.

El BPP cubre un área de 2078,38 hectáreas y el área de amortiguamiento tiene 4100,1 hectáreas. El punto extremo norte tiene coordenadas 715636 E, 9295652 S con una altura de 2521 metros; el punto extremo sur tiene las coordenadas 713992 E, 9287117 S con una altura de 3114 metros; el punto extremo oeste tiene las coordenadas 711347 E, 9292312 S con una altura de 3297 metros y el punto extremo este tiene las coordenadas 717511 E, 9289848 S con una altura de 2496 metros (Gobierno Regional Cajamarca [GRC], 2018).

El estudio se realizó en la zona norte del BPP (Figura 2), que corresponde al sector San Luis; aclarando que el área natural protegida está conformada por tres sectores, en la parte norte se encuentra el sector San Luis, en la zona central Cashipampa, y en la zona sur el sector Ocshahuilca. Además, las parcelas muestreadas se ubican a un rango altitudinal de 2805 a 2858 m.s.n.m., como se observa en la siguiente (Tabla 2).

Tabla 2

Coordenadas UTM y altitud

Parcela	Coordenadas (UTM)		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
PQ1	714259	9294631	2805
PQ2	714280	9294630	2815
PQ3	716105	9295522	2816
PSQ1	714216	9294646	2813
PSQ2	714215	9294640	2858
PSQ3	714231	9294599	2843

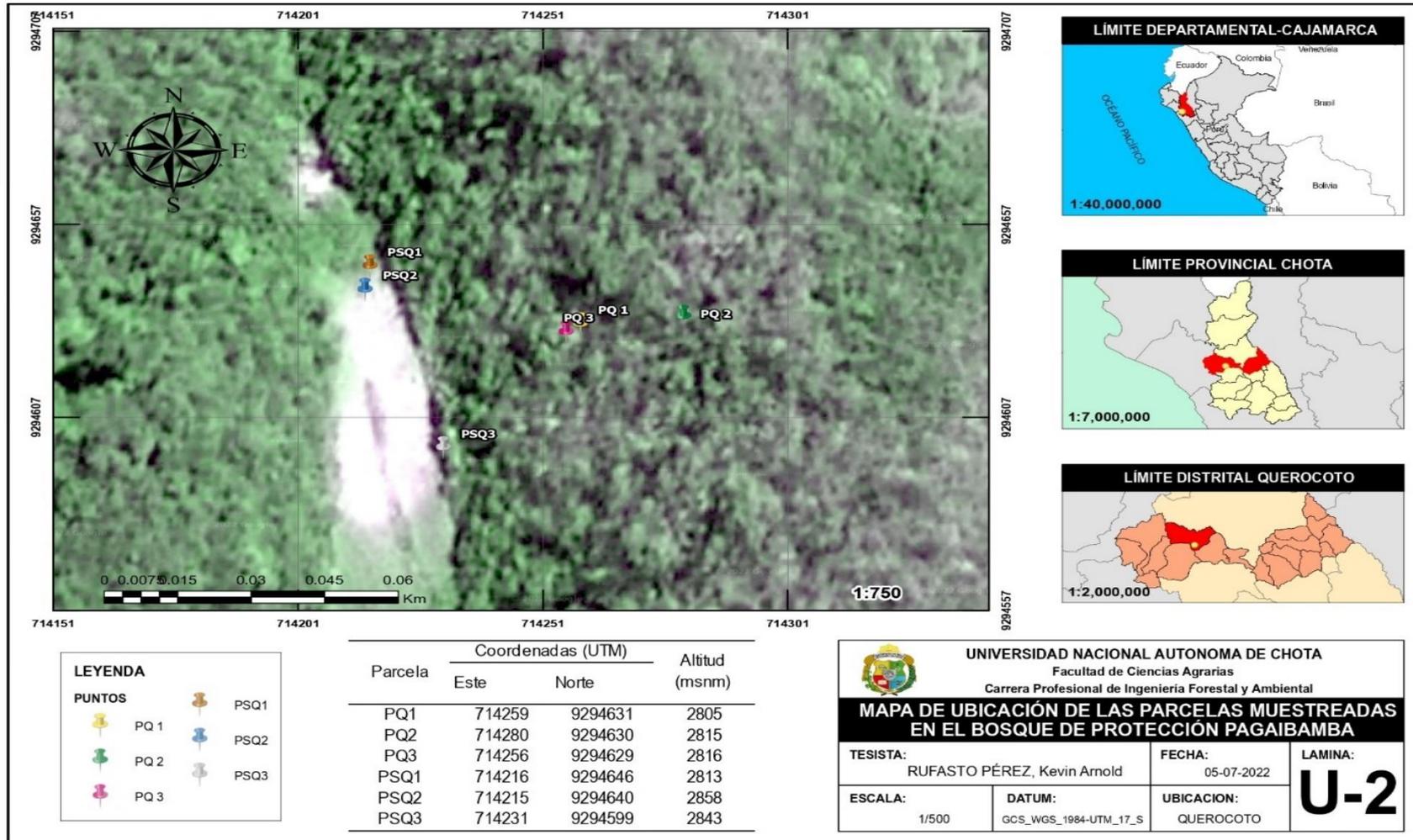
Figura 1

Mapa de ubicación del BPP



Figura 2

Mapa de ubicación de las parcelas muestreadas en el BPP



Vías de acceso.

El acceso al BPP es por la vía asfaltada de Chota hasta Huambos, y por trocha va desde Huambos hasta Querocoto, en esta vía se accede al bosque 3 km antes del distrito de Querocoto. El tiempo de viaje es de unas 3 horas.

Climatología

Hay dos estaciones distintas en el área de estudio, estaciones lluviosas de octubre a abril y la seca de mayo a septiembre. Asimismo, la temperatura promedio más alta es de 19,7 a 20,4 °C, y la temperatura promedio más baja es de 12 a 12,9 °C (GRC, 2018).

Precipitación

El periodo de lluvias en el BPP inicia el mes de octubre y culmina el mes de mayo y el periodo seco inicia a fines de mayo hasta el mes de septiembre, en el periodo 2012 – 2017 la precipitación mensual fue de un mínimo de 473,5 mm y un máximo de 897,9 mm (GRC, 2018).

Suelos

Las características de los suelos en el BPP, son variadas, dentro de ellas se han registrado suelos: Andosol (T), Andosol – Leptosol (T-L), Andosol – Regosol (T-R), Leptosol – Regosol (L-R), Páramo andosol – Leptosol (PA-L) y Paramosol (PS) (GRC, 2018).

Se siguió la siguiente metodología para la investigación:

3.3.1. Trabajo de campo

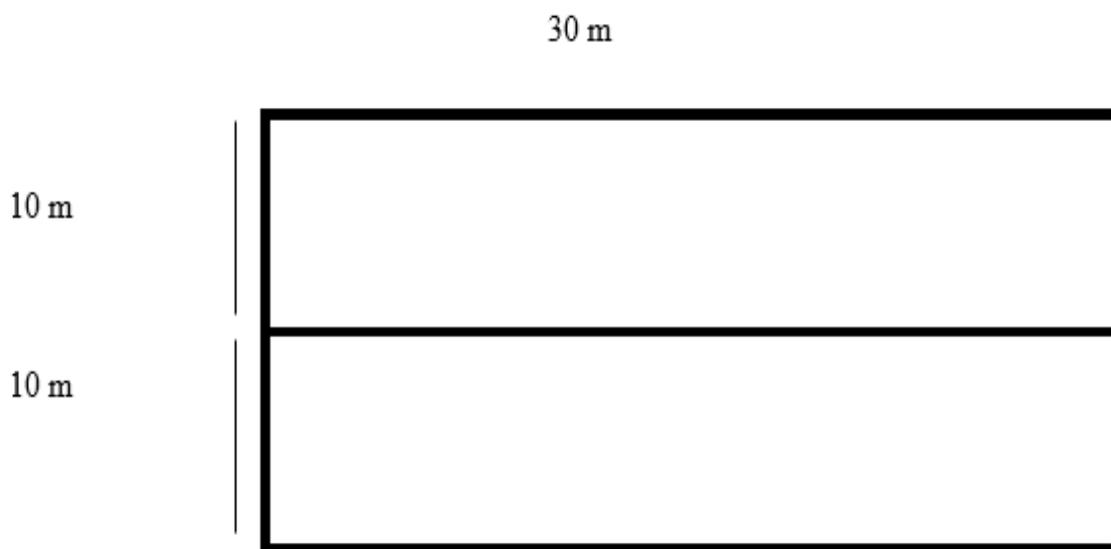
3.3.1.1. Instalación de parcelas.

La investigación se realizó en la zona norte del sector san Luis del BPP, en la que se realizó un recorrido inicial con el fin de identificar de manera visual áreas afectadas y no afectadas por el fuego.

Se instalaron seis parcelas de muestreo de 600 m², divididas de tres parcelas en la parte quemada y tres en la parte no quemada, se ubicaron al azar dentro del área boscosa de estudio. Las dimensiones consideradas para cada una de las parcelas rectangulares fueron: de 30 m de largo por 20 m de ancho (Figura 3).

Figura 3

Tamaño y forma de la parcela



3.3.1.2. Extracción de muestras. Una vez identificadas las parcelas, se procedió a señalar puntos al azar en forma de zig-zag, considerando que estén distribuidas homogéneamente dentro de la parcela en estudio. Se retiró la vegetación existente, residuos frescos y/o M.O presente y se marcó un cuadrado, con ayuda de una pala recta.

Para la extracción de la submuestra se excavó un hoyo (Figura 12) a profundidades de 10 cm y de 20 cm en la cual se extrajo una tajada de suelo de un lado del hoyo, tratando de mantenerla intacta. Este procedimiento se repitió en cada una de las cinco submuestras. Luego de la homogenización y cuarteo se obtuvo una muestra de medio kilogramo (Figura 14) de suelo por parcela y profundidad. Cada una de las muestras se identificaron con una ficha (Anexo 2).

3.3.2. Trabajo de laboratorio

Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio del INIA Baños del Inca, Cajamarca para su análisis. El análisis de laboratorio se realizó con los siguientes métodos:

pH (1:1): a través método suelo: agua relación 1:1, siguiendo la norma EPA 9045D. REV. 4. 2004.

CE: determinación de la conductividad eléctrica. Siguiendo la norma ISO 11265: 1994 soil quality.

CIC: saturación con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COOCH}_4\text{N}$); pH 7.0.

P disponible: Determinación de fósforo, siguiendo la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMANART-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.1.10 AS-09.2000.

K disponible: determinación de K, siguiendo la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMANART-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.1.6 AS-09.2000.

N total (%): contenido de materia orgánica por el método de Kjeldahl. Siguiendo la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMANART-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-09.2000.

Textura: determinación de la textura por procedimiento de Bouyoucus, siguiendo la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMANART-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.1.9 AS-09.2000.

M.O (%): contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black, siguiendo la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMANART-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-09.2000.

Da: método del cilindro muestreador.

3.3.3. Trabajo de gabinete.

En esta fase se procedió a consolidar la información de campo y los reportes del laboratorio, para realizar el procesamiento de datos y redactar el informe final de tesis.

3.4. Población, muestra y muestreo

Población.

La población lo conforma el suelo de áreas afectadas por el incendio forestal en el año 2016 y áreas no quemadas del BPP, ubicado en el distrito de Querocoto.

Muestra.

La muestra lo constituye el suelo de 6 parcelas (Figura 2) (tres en bosque incendiado y tres en la parte no quemada) de 600 m² cada una.

Muestreo.

Se distribuyeron las parcelas al azar en áreas con incendio y sin incendio a dos profundidades de muestreo 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, haciendo un total de cuatro condiciones de estudio que se detallan a continuación:

T1 Parcela no afectada por el fuego y muestreada a una profundidad de 0 - 10 cm.

T2 Parcela no afectada por el fuego y muestreada a una profundidad de 10 - 20 cm.

T3 Parcela afectada por el fuego y muestreada a una profundidad de 0 - 10 cm.

T4 Parcela afectada por el fuego y muestreada a una profundidad de 10- 20 cm.

Para cada condición de estudio se consideró 3 repeticiones, haciendo un total de 6 parcelas de evaluación de 600 m² cada una.

Cada parcela de evaluación se georreferenció en el sistema de coordenadas UTM y Datum WGS84

Se realizó un muestreo compuesto por cinco submuestras simples, muestras que fueron depositadas en bolsas Ziploc y se codificaron y enviaron al laboratorio del INIA Baños del Inca, Cajamarca.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. *Técnicas de recolección de datos.*

La técnica empleada para la recolección de datos es la observación participante y análisis de laboratorio.

3.5.2. *Instrumentos para la recolección de datos.*

Ficha de identificación de muestras (Anexo 2), ficha de registro de datos de laboratorio (Anexo 3) y cuaderno de campo.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos se procesaron en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25, aplicando análisis de normalidad (Shapiro Willk con un nivel de significación de 0,05). Para los datos que presentan distribución normal ($p\text{-valor} > 0,05$) se aplicó pruebas paramétricas (ANOVA y Tukey) y para las que presentan una distribución no normal ($p\text{-valor} < 0,05$) se aplicó las pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis y Bonferroni).

La presentación de datos se realizó considerando gráficos de dispersión y box plot, para el análisis e interpretación se compararon los resultados con otras investigaciones y bases teórico científicas.

3.7. Aspectos éticos

La investigación de tesis realizada es original, presenta datos veraces, de acorde al método científico, con citas debidamente identificadas por sus autores originales, en todo aspecto se ha manteniendo la ética profesional.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

Los resultados de las muestras de suelos enviados al Laboratorio INIA Baños del Inca, Cajamarca, fueron analizados para observar su variación o no causado por el incendio forestal en el BPP.

4.1.1. Análisis estadístico de los resultados

Se ha utilizado Shapiro-Wilk para la prueba de normalidad (Tabla 3), dado que se tiene menos de 50 datos por indicador; el nivel de significación es 0,05. Se aprecia en la Tabla 3 que los datos de los parámetros pH, N, K, M.O., Da, Textura y CIC tienen una distribución normal y los parámetros CE, y P tienen una distribución no normal; lo que implica para el primer grupo se aplique las pruebas paramétricas (ANOVA y prueba de medias de Tukey) y para el segundo grupo se aplica pruebas no paramétricas (Kruskal Wallis y Bonferroni).

Tabla 3

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
pH	,894	12	,131
CE	,602	12	,000
N	,902	12	,170
MO	,894	12	,132
P	,757	12	,003
K	,904	12	,177
CIC	,918	12	,270
Arena	,961	12	,794
Limo	,880	12	,088
Arcilla	,933	12	,411
DA	,957	12	,744

Tabla 4

Media ± desviación estándar de los indicadores evaluados en el suelo.

Característica	Unidad	PSQ		PQ		F	Pvalor	Sig.
		T1	T2	T3	T4			
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm			
pH*	unid. pH	4,2 ±0,3 a	3,8±0,2 ab	3,6±0,1 b	3,5±0,2b	7,217	0,012	S
CE**	mS/m	0,061±0,010	0,049±0,021	0,166±0,132	0,033±0,013	2,391	0,038	S
MO*	%	9,6±2,6 a	5,3±0,6 a	10,2±0,3 a	7,8±3,3 a	3,143	0,087	NS
N*	%	0,43±0,05 a	0,57±0,18 a	0,53±0,05 a	0,35±0,02 a	2,943	0,099	NS
P**	ppm	12,40±2,98	15,27±7,94	10,97±2,65	9,52±1,40	0,893	0,412	NS
K*	ppm	188,333±14,43 a	171,667±7,638 ab	165±5,774 b	158,333±7,638 b	6,791	0,014	S
CIC*	mE q/100g	2,93±0,07 a	2,44±0,22 b	3,04±0,09 a	2,79±7,12 ab	10,571	0,004	S
Arena*	%	67,3±8,1 ab	74±3,5 a	63,3±2,3 ab	53,3±6,1 b	7,478	0,01	S

Limo*	%	10±7,211 ab	5,333±1,155 b	8±2,0 ab	16,667±3,055 a	4,213	0,046	S
Arcilla*	%	22,7±3,1 a	20,7±2,3 a	28,7±3,1 a	30±7,2 a	3,246	0,081	NS
Clase textural*	...	Franco arenoso	Aren a franca	Franco arenoso	Franco
Da*	g/cm ³	1,46±0,04 ab	1,49±0,02 a	1,42±0,02 ab	1,39±0,05 b	5,897	0,02	S

* ANOVA (Anexo 4) y prueba de Tukey (Anexo 6)

** Kruskal Wallis (Anexo 5)

Nota 1: letras iguales indica que no existe diferencia estadística significativa (nivel de significación 0,05).

Nota 2: S indica significancia estadística y NS indica no existe significancia estadística.

4.1.2. pH del suelo

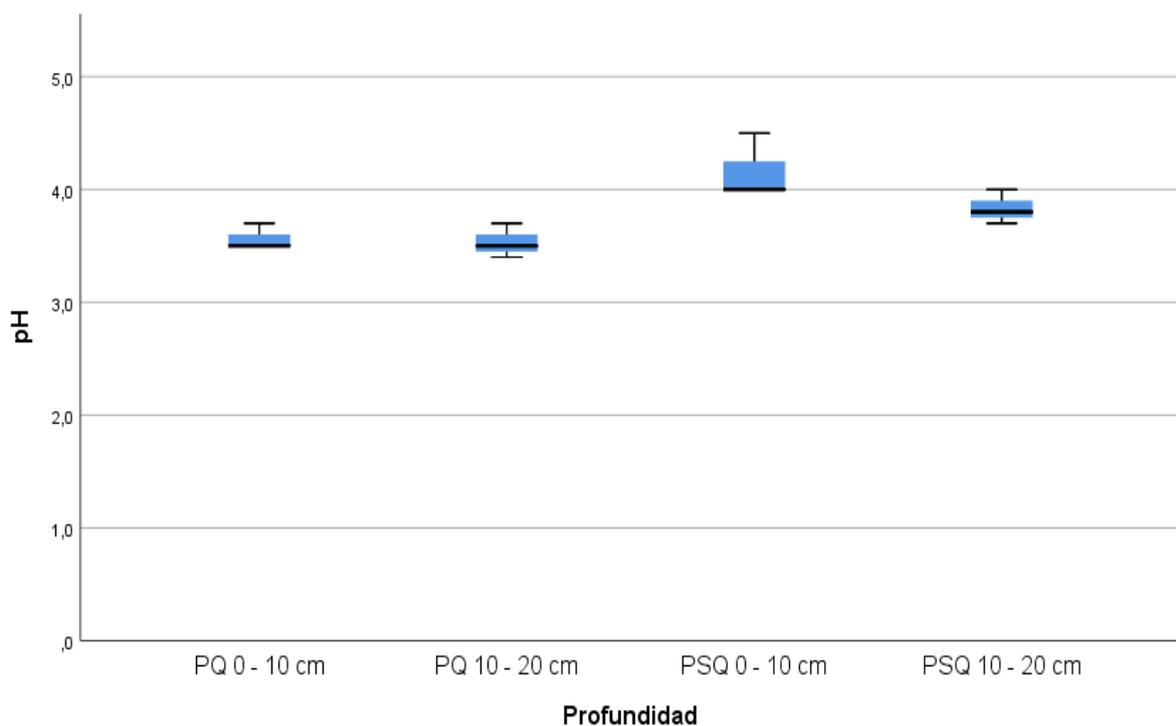
El pH del suelo, en todas las parcelas muestreadas se encuentra en el rango de 3,5 – 4,2 (Figura 4), según el Reglamento para la adecuada clasificación de tierras [RCTCUM], (2017) es un suelo extremadamente ácido.

La parcela sin quemar presenta mayores unidades de pH, registrándose pH superiores entre los 0 - 10 cm del suelo; respecto a la parcela quemada, se evidencia una disminución de 0,6 unidades en los primeros 10 cm y 0,3 unidades a una profundidad de 10 – 20 cm.

La prueba ANOVA indica que existe diferencia significativa (p – valor 0,012) entre los promedios de pH de las áreas quemadas y del área sin quemar; es decir, los incendios forestales tienen efecto en el pH del suelo en el Bosque de Protección de Pagaibamba.

Figura 4

pH del suelo de las parcelas muestreadas



4.1.3. Conductividad eléctrica

Sabiendo que la CE es la medición de la concentración de sales del suelo, en todas las parcelas estudiadas se aprecia concentraciones bajas (varia de 0,03 – 0,2 mS/m), según el RCTCUM (2017) se considera como suelo no salino.

En parte sin quema y parte quemada se registra una disminución de 0,012 mS/m y 0,133 mS/m respectivamente en relación a la profundidad y entre parcelas se observa que el área quemada aumenta 0,105 mS/m de CE en los 0 – 10 cm de profundidad, y disminuye 0,016 mS/m en la profundidad de 10 – 20 cm (Figura 5).

La prueba de Kruskal Wallis indica que existe significancia estadística (p-valor 0,038) o diferencias reales entre los promedios de CE. La corrección de Bonferroni para varias pruebas indica diferencias significativas entre las dos profundidades evaluadas en la parcela quemada (p-valor 0,028) y no se evidencia diferencias entre otras condiciones de estudio (Tabla 5).

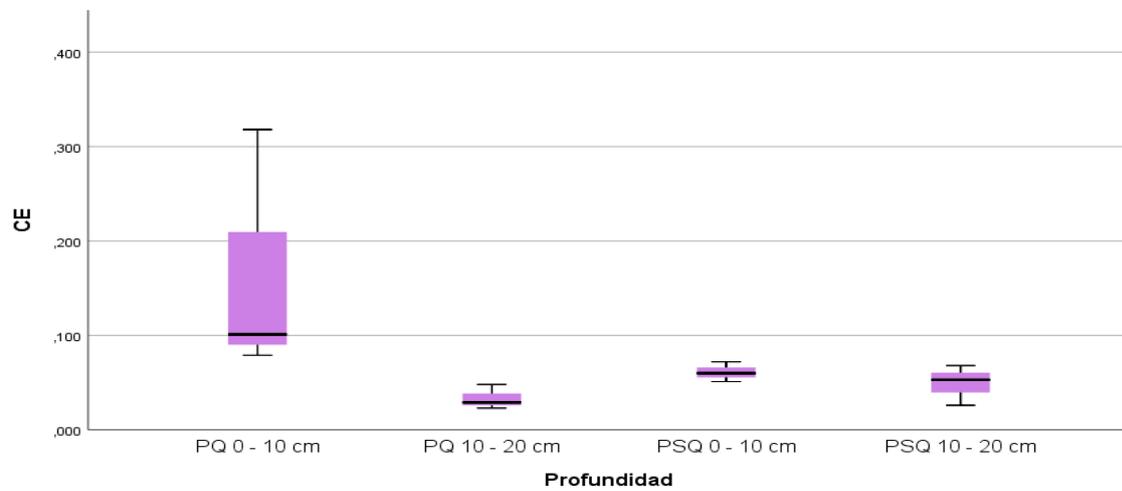
Tabla 5

Corrección de Bonferroni para CE del suelo

Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. Ajust.
10 - 20 cm PQ - 10 - 20 cm PSQ	-2,667	2,944	..-0,906	0,365	1,000
10 - 20 cm PQ - 0 - 10 cm PSQ	-4,333	2,944	-1,472	0,141	0,846
10 - 20 cm PQ - 0 - 10 cm PQ	8,333	2,944	2,831	0,005	0,028
10 - 20 cm PSQ - 0 - 10 cm PSQ	1,667	2,944	0,566	0,571	1,000
10 - 20 cm PSQ - 0 - 10 cm PQ	5,667	2,944	1,925	0,054	0,325
0 - 10 cm PSQ - 0 - 10 cm PIQ	4,000	2,944	1,359	0,174	1,000

Figura 5

CE del suelo (mS/m) de las parcelas muestreadas



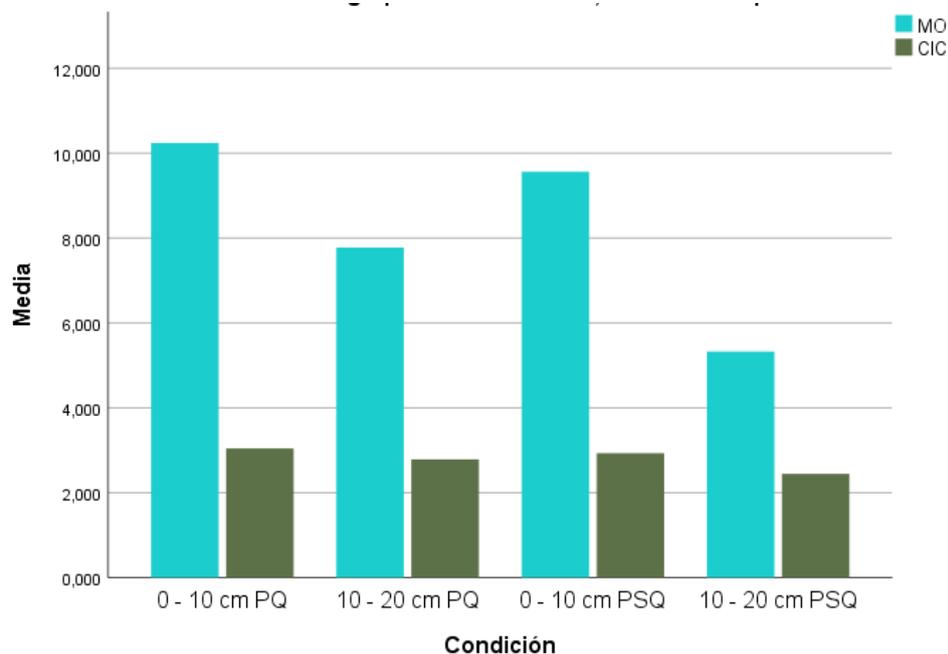
4.1.4. Capacidad de intercambio catiónico

La CIC es superior en los primeros 10 cm del suelo en parcelas quemadas (difiere en 0,49 mEq/100g entre profundidades de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm) y sin quemar (difiere en 0,25 mEq/100g entre profundidades 0 – 10 cm y 10 – 20 cm) (Figura 6), evidenciando diferencia estadística significativas (p-valor 0,004) en la profundidad, pero no entre parcelas quemadas y no quemadas.

Se evidencia relación directa entre la materia orgánica y la CIC, pues a mayor porcentaje de materia orgánica el suelo presenta mayor CIC.

Figura 6

CIC (mEq/100g) y M.O (%) del suelo de las parcelas muestreadas.



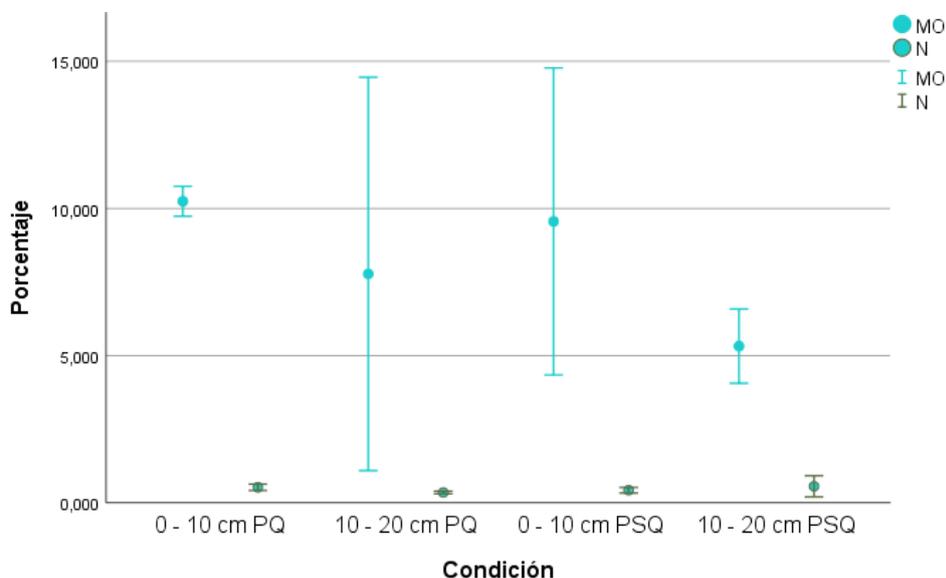
4.1.5. Materia orgánica (%) y Nitrógeno total (%)

El contenido de N total (%) del suelo tiene un comportamiento similar que la M.O, en las parcelas quemadas, conforme aumenta la profundidad disminuye la concentración de M.O, y de igual forma disminuye el contenido de N (Figura 7).

No se registró diferencias estadísticas significativas (p – valor 0,099) entre parcelas quemadas y sin quemar, y tampoco a nivel de profundidad del suelo; no obstante, se evidencia que el porcentaje de N en el área quemada respecto al área sin quema incrementa 0,10 % en los primero 10 cm de profundidad del suelo, y disminuye 0,22% en los 10 – 20 cm de profundidad. Para las parcelas sin quema, el N ha aumentado conforme aumenta la profundidad, pasando de 0,43% en los 10 cm superiores a 0,57% en los 10 – 20 cm de profundidad, y en la parcela quemada el % de N disminuye a mayor profundidad del suelo.

Figura 7

Relación entre *N* total (%) y *M.O* (%) del suelo de las parcelas muestreadas.



Los suelos estudiados según el RCTCUM (2017) se consideran como suelo con alto nivel de contenido en *M.O*, pues están en el rango de 5,3 – 10, 2 %.

Estadísticamente no existe diferencia significativa (p – valor 0,087) entre los promedios de las concentraciones de *M.O*; esto implica que transcurridos los 5,5 años del incendio forestal en el BPP no se evidencia efectos ni entre parcelas ni entre niveles de profundidad del suelo.

El porcentaje de *M.O* aumenta 0,6 % en los primeros 10 cm de profundidad y 2,5% en los 10 – 20 cm de profundidad del suelo (Figura 7), en el área quemada respecto al área no quemada.

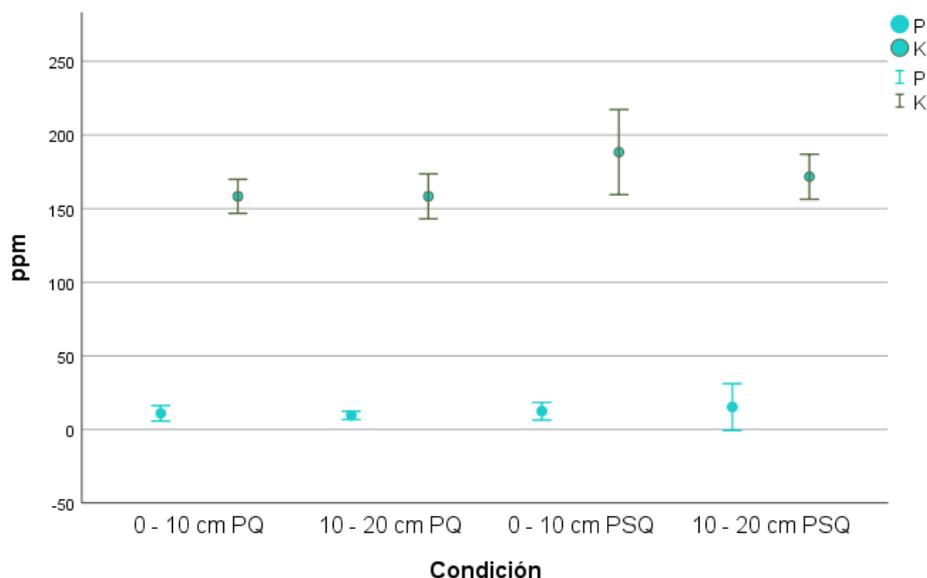
Además, se observa que en ambas condiciones de estudio el contenido de *M.O* siempre es mayor en los primeros 10 cm de profundidad, se debe a que existe mayor concentración de restos vegetales en la parte superior del suelo, y en el área quemada puede deberse a la integración de materia al suelo producto de la quema de la vegetación; también

puede deberse al establecimiento de la vegetación herbácea luego del incendio la cual aporta grandes volúmenes de M.O.

4.1.6. Fósforo disponible (ppm)

Figura 8

P y K disponible (ppm) de las parcelas muestreadas



Estadísticamente no existe diferencia significativa (p – valor 0,485), lo que indica que después de 5,5 años del incendio forestal no existe efectos de este evento en el P disponible del suelo.

Las concentraciones de P disponible en las parcelas quemadas se encuentran en un rango de 9,517 – 10,97 ppm y de 12,40 – 15,27 ppm en las parcelas sin quema; por lo tanto, según el RCTCUM (2017) las parcelas quemadas presentan niveles medios de P y las parcelas sin quema tienen un nivel medio en la profundidad de 0 – 10 cm y alto en la profundidad de 10 – 20 cm.

También se registra un valor decreciente conforme aumenta la profundidad en las parcelas quemadas (disminuye en 1,45 ppm); y un aumento a mayor profundidad en las parcelas sin quema (2,87 ppm); entre parcelas existe mayor concentración en el área sin

quemada lo que difiere en 1,43 ppm y 5,75 ppm a profundidades de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm respectivamente (Figura 8).

4.1.7. Potasio disponible (ppm)

Estadísticamente existe diferencia significativa (p – valor 0,014) entre los promedios de las concentraciones de K; esto implica que transcurridos los 5,5 años del incendio forestal en el BPP se evidencia disminución en la concentración de este elemento en las parcelas quemadas.

La concentración de K disponible (ppm) del suelo en todas las parcelas se encuentra entre 188,333 ppm y 158,333 ppm, lo cual según el RCTCUM (2017) se consideran como suelo con un nivel medio de K.

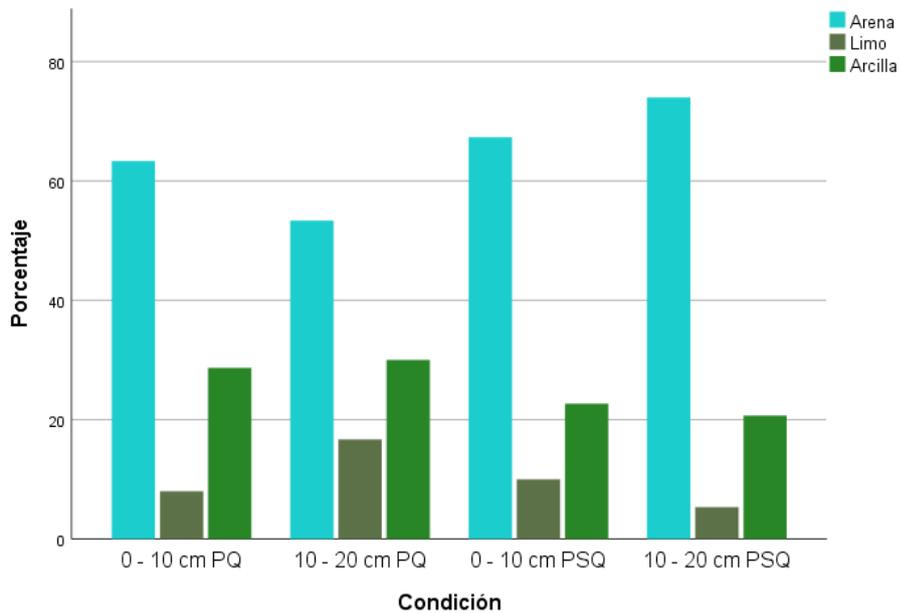
El K disponible del suelo disminuye en las parcelas quemadas y conforme aumenta la profundidad (Figura 8).

4.1.8. Textura

Los suelos son predominantemente de textura franca, con altos contenidos de arena. No se registró variación en la textura del suelo según tipo de parcela y profundidad de evaluación.

Figura 9

Arena (%), limo (%) y arcilla (%)



Arena

Se evidencia que existe diferencia significativa (p – valor 0,01) en relación a la profundidad del suelo, registrando aumento del 6,7 % de arena conforme aumenta la profundidad del suelo en las parcelas sin quema y se registra una disminución del 10 % de arena conforme aumenta la profundidad en las parcelas quemadas.

Limo

Se aprecia que hay diferencia significativa (p – valor 0,046) en relación a la profundidad del suelo, registrando disminución del 4,667 % de limo conforme aumenta la profundidad del suelo en las parcelas sin quema y se registra un aumento de 8,667 % de limo conforme aumenta la profundidad en las parcelas quemadas.

Arcilla

No existe diferencia significativa (p – valor 0,081) en los contenidos de arcilla, entre parcelas quemadas y sin quemar, y tampoco a nivel de profundidad del suelo; lo que se

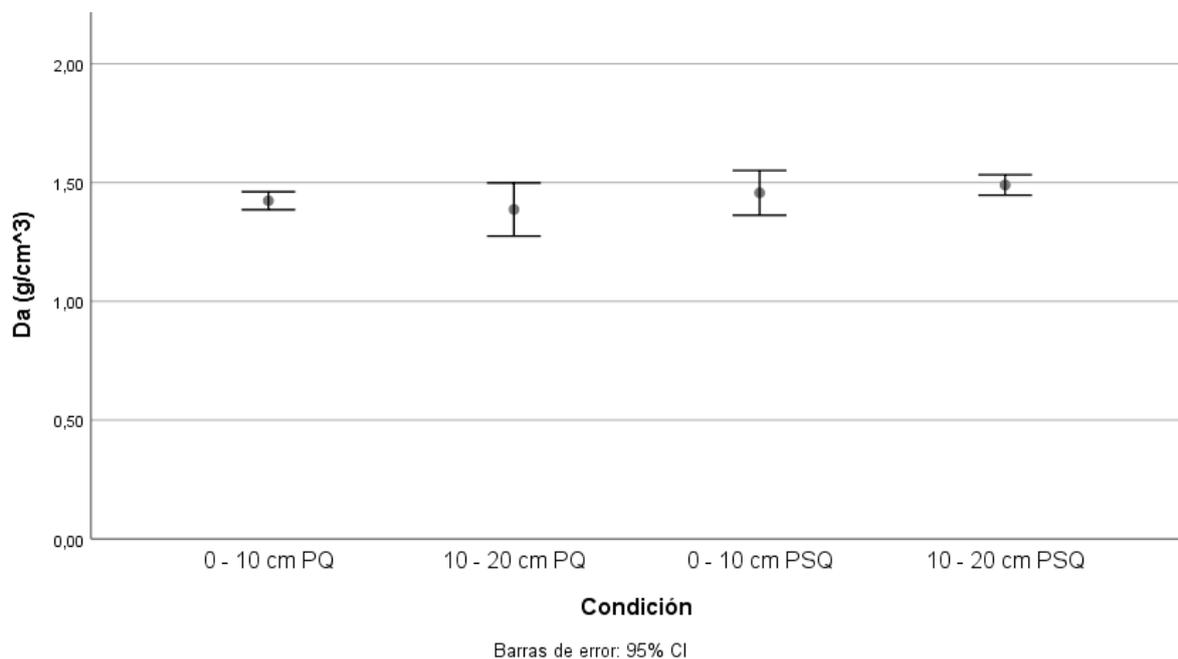
registra es aumento en el porcentaje de arcilla en las parcelas quemadas, en la profundidad de 0 – 10 cm aumenta 6 % y de 10 – 20 cm de profundidad aumenta en 9,3 %.

4.1.9. Densidad aparente

Estadísticamente existe diferencia significativa (p – valor 0,02) entre los promedios de las condiciones de estudio, encontrándose menor D_a en los 10 a 20 cm de la parcela quemada (Figura 11). Respecto a los 10 centímetros superiores del suelo de la parcela quemada y sin quemar, no se evidencia diferencias significativas, ello puede deberse a que la M.O perdida en el incendio, al cabo de 5,5 años se recuperó gracias a la proliferación de vegetación herbácea que colonizó estos espacios.

Figura 10

D_a (g/cm^3) del suelo de las parcelas muestreadas.



4.2. Contrastación de Hipótesis

La prueba de medias de Tukey (nivel de significación 0,05) evidencia que existe diferencia estadística significativa entre parcelas quemadas y sin quemar, pues se registró variación en el pH, K. Así mismo, se encontró diferencias estadísticas significativas considerando la profundidad del suelo en los indicadores CIC, arena, limo y Da.

Considerando los resultados, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, pues al cabo de 5,5 años del incendio forestal en el BPP aún se evidencian diferencias significativas entre parcelas quemadas y sin quemar.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. pH.

Al cabo de 5,5 años del incendio forestal en el BPP, el pH ha disminuido en la parcela quemada, evidenciándose diferencia significativa (p – valor 0,012) entre parcelas de estudio, lo que indica influencia de este evento en el pH del suelo.

Alva (2019) observa que la reacción actual (pH) se incrementa conforme aumenta la profundidad en el suelo no quemado. En cambio, en el suelo afectado por el incendio, disminuye a medida que la profundidad se incrementa. Al comparar los resultados del suelo afectado y no afectado, se muestra que en el suelo afectado por el incendio los valores de pH han aumentado de manera general, estudio realizado en el BPP después de 3 años del incendio forestal.

Después de un incendio forestal el pH del suelo sufre grandes modificaciones, su valor se incrementa debido a las cenizas producto del incendio, estas contienen carbonato potásico ($\text{CO}_3 \text{K}_2$), proceden de una base fuerte y un ácido débil, genera reacción básica cuando se hidroliza, por lo tanto, el pH tiende a incrementarse. Por otro lado, las lluvias generan lavado y arrastre de cationes, produciendo descensos muy fuertes a los incrementos

iniciales de pH y puede registrar valores menores a los alcanzados antes de la quema (Martínez et al., 1991; como se citó en Gallego et al., 2013).

Úbeda (2001) registró aumentos del pH de valores inferiores a 7 a valores de 8 en tres zonas después del incendio. Las zonas que más se quemaron son las que obtuvieron los valores más altos. Después de dos años, el pH del suelo había disminuido, pero seguía siendo más alto que el de la parcela de control, además; según Giovannini (1994, como se citó en Úbeda, 2001) estos cambios de pH se debieron a la pérdida de grupos hidroxilo por parte de la arcilla y la disociación de carbonatos para formar óxidos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a 450 °C para que este incremento sea notable.

Según Terefe et al. (2008 como se citó en Celis et al., 2013) mencionan que algunos autores han observado una disminución del pH en suelos expuestos a altas temperaturas en el laboratorio, ya que en estos casos no se tienen en cuenta los efectos de las cenizas. La velocidad de recuperación del pH también depende de la capacidad amortiguadora del suelo; en ocasiones, la recuperación relativamente rápida del pH es producto de la pérdida de cenizas por erosión (Zavala et al., 2009; Pereira et al., 2013 como se citó en Celis et al., 2013).

Al cabo de 5,5 años del incendio forestal aún se evidencia alteración del pH en áreas quemadas; no obstante, el pH pudo haberse recuperado desde el incendio debido al efecto tampón del suelo y la recuperación de cobertura vegetal herbácea que aporta M.O.

4.3.2. Conductividad eléctrica

Después de 5,5 años del incendio forestal en el BPP se observa significación estadística en la parcela quemada para las dos profundidades evaluadas.

Denegri et al. (2014) encontraron que la CE aumenta significativamente ($p < 0,05$) en el suelo quemado respecto al testigo, además el efecto de la temperatura incrementa la CE de los suelos. Los mayores valores de CE lograron observar a 200°C.

El aumento de la CE puede deberse a la liberación de óxidos y bases por combustión de la M.O; sin embargo, a aumentos graduales de temperatura, los valores de CE disminuyen significativamente, la cual sucede tras la posibilidad que parte de los óxidos liberados por combustión y que contribuyen a un aumento de la CE sean volatilizados por un aumento de la temperatura (Denegri et al., 2014).

Los cambios en la CE suelen ser efímeros, ya que las sales son rápidamente lavadas o arrastradas por la escorrentía (Celis et al., 2013).

4.3.3. Capacidad de intercambio catiónico

La CIC ha presentado estadísticamente una diferencia significativa entre los tratamientos (p – valor 0,004), a nivel de profundidad, se evidencia que conforme aumenta la profundidad la CIC disminuye.

Alva (2019) afirma que después de 3 años del incendio forestal los valores de CIC del suelo afectado y no afectado en el BPP, observa en el suelo no afectado por el incendio la CIC es mayor tanto en la superficie como a profundidad. En cambio, en el suelo afectado por el incendio, el valor es menor y disminuye a medida que se incrementa la profundidad.

Resultados similares obtuvieron Alva & Manosalva (2019) en la CIC del suelo, registrando disminución de la CIC a mayor profundidad, incrementándose estos valores en las parcelas quemadas respecto a la sin quemar. Autores como Domínguez (2016) también registraron reducción de la CIC a mayor profundidad del suelo.

El fuego tiende a disminuir la CIC del suelo pues se elimina por combustión la M.O del complejo coloidal (Celis et al., 2013). No obstante, si el fuego es de baja intensidad, la CIC se puede incrementar de manera temporal (Gil et al., 2010, como se citó en Celis et al., 2013).

Respecto a la relación de la CIC y la profundidad del suelo, existe una relación inversa pues en los primeros centímetros se encuentra la mayor cantidad de aportes de M.O, y a medida que se profundiza se reduce este volumen, y con ello la CIC (Celis et al., 2013).

4.3.4. Nitrógeno total (%)

Transcurridos los 5,5 años del incendio forestal en el BPP, no se observa diferencia significativa (p – valor 0,099) entre los promedios de contenido de N en las condiciones de suelo estudiadas.

Alva (2019) aclara que el contenido de N es mayor en el suelo no afectado por el incendio y en los primeros centímetros del suelo.

Capulín et al. (2010) confirma que al estudiar la influencia de un incendio forestal natural, moderado y superficial, sobre la vegetación y el suelo, registró que el fuego afecta el contenido de N total, con mayor grado en los primeros 5 cm.

Según Celis et al. (2013) aclaran que la muerte de la mayoría de los árboles tras un incendio desencadena la pérdida de asociaciones de micorrizas, y, por lo tanto, la absorción de nutrientes disminuye aumentando la presencia del N en el suelo.

Según Úbeda (2001) la concentración de N desciende después de los incendios debido a que gran parte se volatiliza en forma de N_2 y se transforma en formas más complejas.

Se infiere que el aumento de N en los primeros 10 cm del suelo se debe a que el N es directamente proporcional a la M.O, y tal recuperación se relacionaría con la descomposición de las raíces finas y la hojarasca que colonizó el área rápidamente.

4.3.5. Fósforo disponible (ppm)

Habiendo transcurrido 5,5 años del incendio forestal, el P disponible disminuyó en las parcelas quemadas; no obstante, esta diferencia no es significativa (p – valor 0,485).

Alva (2019) registra incrementos de 1,28 ppm en los primeros 10 cm y 0,1 ppm en los 20 cm de profundidad, de P disponible en parcelas afectadas por el fuego y el contenido de P

disponible disminuyó en relación a la profundidad en suelos afectados y no afectados por el fuego.

Domínguez (2016) observó que el contenido de P disminuye con la quema pues el suelo es rápidamente erosionado por acción del viento. Otros autores como Massa et al. (2017) mencionan también que un año después de la quema, la concentración de P desciende, manteniéndose las diferencias significativas entre las parcelas tratadas y las parcelas T (testigo), por lo cual no se detectó interacción tratamiento x fecha ($p=0,6597$).

El contenido de P de la superficie del suelo (0 – 5 cm) después del incendio se mantuvo sin cambios durante los primeros 12 meses; sin embargo, a los 18 meses fue menor que el nivel inicial, este decrecimiento durante la estación de crecimiento se debe a que el P es absorbido por la vegetación herbácea que cubre la superficie del suelo (Capulín et al., 2010).

Tras considerar las bases teóricas y antecedentes se puede inferir que la disminución del P está en función a la rápida colonización de la vegetación herbácea post fuego, la cual consumió el P en gran parte.

4.3.6. Potasio disponible (ppm)

Habiendo transcurrido 5,5 años del incendio forestal en el BPP, se evidencia diferencia significativa (p – valor 0,014) entre parcelas en el contenido de K.

Alva (2019) en su investigación realizada tres años después del incendio forestal en el BPP, observó que, en los suelos afectados por el fuego, el K aumentó en 6,13 ppm durante los primeros 10 cm y luego disminuyó a partir de esa profundidad. En suelos afectados por incendios, el contenido de K aumenta con la profundidad.

Khouri & Prendes (2006) mencionan que el K experimenta un aumento generalizado en su concentración a todas las profundidades hasta los 30 días después de la quema. Sánchez et al. (1991) confirma que el K y el magnesio después del incendio forestal experimentan

incrementos de hasta 4 veces sus valores iniciales. Sin embargo, el incremento de K a los 4 meses del fuego se reduce rápidamente, transcurrido ese tiempo sus valores ya son casi parecidos a los iniciales, y a los 2 años después del incendio pueden llegar a ser inferiores a los del inicio.

Sánchez et al. (1991) explica que la disminución del K disponible se da debido a que se lava con mucha facilidad y es rápidamente absorbido por las plantas. Dimitrakopoulos et al. (1994, como se citó en Khouri & Prendes, 2006) señalan que, si no hay suministro de K por parte de la vegetación, la concentración de K se verá reducida a corto plazo después del incendio.

Considerando las bases teóricas se infiere que la disminución de K se debe a que fue rápidamente absorbido por la abundante vegetación herbácea que se pobló en las parcelas después del incendio forestal y al posible lavado de este catión.

4.3.7. *Materia orgánica*

En este parámetro se evidencia que existe un aumento de la concentración de M.O en el área quemada, registrando un aumento de 0,6 % en los primeros 10 cm del suelo, y 2,5 % en los 10 – 20 cm inferiores. Estadísticamente no se observa diferencia significativa (p – valor 0,087) entre los promedios del contenido de M.O.

Alva (2019) en su investigación en el BPP después de 3 años del incendio forestal, registra que la M.O del suelo disminuyó fuertemente en el área quemada. En los primeros 10 cm y 20 cm la disminución fue del 2,4% en ambos casos. Se sugiere que el fuego destruye la materia orgánica del suelo, y también es posible que la erosión del suelo haya causado la pérdida de M.O.

Algunos autores también encontraron resultados similares, en el caso de Massa et al. (2017) indican que no detectaron diferencias significativas entre tratamientos ni en la interacción tiempo por tratamiento. En su primera fecha de evaluación, las parcelas con

quemado presentaron mayores contenidos de M.O, aunque no fueron significativos. Autores como Valdes et al. (2016) mencionan que transcurrido cuatro años después del incendio forestal la M.O se incrementa en el área quemada con respecto a la no quemada. Indica también que el incremento del porcentaje de M.O es producto de la acumulación de los diferentes restos vegetales.

Considerando los antecedentes y bases teóricas se puede inferir que la recuperación de la M.O comienza con la recolonización de la vegetación que en general es rápida, tal como comienza con la repoblación herbácea o con la alta productividad primaria neta de la sucesión secundaria, lo cual aporta M.O al suelo.

4.3.8. Textura

En relación a los datos obtenidos, los suelos son predominantemente de textura franca, con altos contenidos de arena. Se aprecia que el fuego no afectó significativamente a esta propiedad del suelo. Por lo que la textura franca se mantiene tanto a nivel de profundidad y entre parcelas. Se desconoce la temperatura que se alcanzó en el incendio del BPP.

Se evidencia que existe diferencia significativa en relación al porcentaje de arena y limo según profundidad del suelo, lo cual se debe a la evolución natural del suelo. No existe diferencia significativa en los contenidos de arcilla entre parcelas quemadas y sin quemar, y tampoco a nivel de profundidad del suelo.

Alva (2019) menciona que el contenido de arena se mantiene uniforme de 0 – 20 cm de profundidad del suelo y a partir de los 20 cm hasta los 40 cm desciende bruscamente, en las parcelas no afectadas por el fuego; en las parcelas quemadas en los primeros 20 cm se mantiene igual y a partir de esa profundidad aumenta hasta el 82 %. El contenido de arcilla en la parte no quemada se mantiene uniforme en los primeros 20 cm de profundidad y aumenta a partir de esa profundidad hasta que llega al 33 %; y en la parte quemada en los 20 cm primeros se mantiene (15 %) y a partir de esa profundidad disminuye hasta el 5 %.

Casas (2019) no registró variación en la clase textural del suelo quemado, resultados similares a los encontrados en la presente investigación.

Casas (2019) observó que el incendio forestal ocasiona un descenso del 3 % en las fracciones de limo en el suelo quemado, en la profundidad de 0 – 10 cm y 10 – 20 cm.

Valdes et al. (2016) en su investigación obtuvo resultados similares en el comportamiento de arena y arcilla, en la que después de haber transcurrido cuatro años del incendio y a una profundidad de 0 – 20 cm se produjo una disminución en el contenido de arena y la arcilla aumenta.

Según Afif Khouri & Olivera (2006, como se citó en Valdes et al., 2016) mencionan que en un experimento de quema prescrita observan que en un análisis inicial del suelo, la arena incrementa y la arcilla disminuye, pero después de 90 días de la quema prescrita aumenta la arcilla y disminuye el contenido de arena, que este resultado final es similar a los obtenidos por Valdes et al. (2016) en el análisis del suelo después de 4 años de la quema. Los autores mencionan que los resultados iniciales se deben a que se da una aglutinación de partículas después del incendio obteniendo la formación pseudo-texturas más gruesas provocando el aumento de arena; y el resultado de la evaluación después de 4 años atribuyen de que las altas temperaturas son capaces de llevar a cabo es una microignición fraccionada que quizás se vea enmascarada por una eventual y débil restauración.

Gallego et al. (2013) menciona que los componentes que se refieren a la textura del suelo (arena, limo y arcilla) tienen umbrales de temperatura altos y generalmente no se ven afectados por el fuego a menos que estén expuestos a altas temperaturas en la superficie del suelo. La parte más sensible de la textura es la arcilla, que comienza a cambiar alrededor de los 400°C y llega a fallar por completo entre los 700 y los 800°C. Se requieren temperaturas superiores a 1414 °C para tener un efecto sobre la arena o el limo, lo que rara vez sucede.

4.3.9. Densidad aparente

Producto del incendio forestal se observa la disminución de la Da del suelo del BPP. Autores como Senz (2006) encontró que el valor de la Da del suelo quemado se redujo en un 74% en comparación con el suelo de control, lo que puede deberse al volumen de la capa superficial de ceniza presente en el suelo muestreado, lo que hace que la muestra sea más liviana, o también debido a la gran cantidad de combustión de la MO y humus del suelo.

Cáceres (2018) afirma que en su investigación observó incremento de la Da del suelo producto a la quema de vegetación, en la que registro mayor Da en los 0 – 5 cm del suelo, superando estadísticamente ($p < 0,05$) al suelo con quema a profundidad de 5 - 10 cm, y a los suelos sin quema de vegetación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Transcurrido 5,5 años del incendio forestal en el bosque de protección Pagaibamba – Querocoto, Chota; se observaron alteraciones en algunas de las propiedades físicas (arena, limo y la Da) y químicas (pH, CE, K, CIC) del suelo, en las que se vieron afectadas entre parcelas y a nivel de profundidad, en el caso de la arena, limo, CE, CIC y Da del suelo estadísticamente presentan significancia estadística a nivel de profundidad, el pH y K estadísticamente se observa que existe significancia estadística por condición de parcelas estudiadas.

Al comparar las propiedades físicas y químicas del suelo se observa que las propiedades químicas que presentan significancia estadística entre parcelas son el pH (disminuye 0,6 en el T3 y 0,3 unidades de pH en el T4), K (disminuye 23,333 ppm en el T3 y 13,334 ppm en el T4), y a nivel de profundidad están la CIC (disminuye 0,49 mEq/100g en el T4 y 0,25 mEq/100g en el T2) y CE (disminuye 0,133 mS/m en el T4).

Las propiedades físicas presentan significancia estadística a nivel de profundidad del suelo, la arena (aumenta en 6,7 % en el T2 y disminuye 10 % en el T4), limo (disminuye 4,667 % en el T2 y aumenta 8,667 % en el T4) y la Da (aumenta en 0,03 g/cm³ en el T2 y disminuye 0,03 g/cm³ en el T4). En cuanto a la M.O, N, P y arcilla no se observa significancia estadística o variación a nivel de profundidad ni entre parcelas, lo que indica que no se evidencia el efecto del fuego en estos parámetros al cabo de 5,5 años después de ocurrido el incendio forestal.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios en incendios forestales, cuyos resultados a obtener servirán de fuente de información para futuras investigaciones, y toma de decisiones de las autoridades competentes con la finalidad de conservar nuestros recursos vegetales, suelo y agua, del mismo modo se recomienda a las autoridades competentes y locales fomentar la sensibilización ambiental en la población, para así evitar los incendios forestales antrópicos.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Aguirre, L. (2010). Definición de Suelo. *Árbitros Técnicos De La Contaminación De Suelos Y Proceso De Restauración Y Remediación*, 25.
- Alva, D., & Manosalva, H. (2019). Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca [Tesis de título, Universidad Privada del Norte]. *UPN*, 90. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21088>
- Alva, E. (2019). Efectos en el suelo del incendio del bosque de Pagaibamba. Chota 2016. *Caxamarca*, 18(1–2), 83–91.
- Apolinar, J., Contreras, M., Florentino, V., Martínez, C., & Santos, T. (2016). *En Función Del Nitrógeno in Function of Nitrogen*. 419–429.
- Bosch, M., Costa, J., Cabria, F., & Aparicio, V. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ciencia Del Suelo*, 30(2), 95–105. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v30n2/v30n2a03.pdf>
- Brechelt, A. (2004). *Manejo Ecológico del Suelo*. 28.
- Cáceres, J. (2018). Efecto de la quema de vegetación en la propiedades físicas y químicas del suelo Huancayo, 2016. *Africa's Potential for the Ecological Intensification of Agriculture*, 53(9), 128.
- Capulín, G., Mohedano, C., & Razo, Z. (2010). Changes in Soil and Vegetation in a Pinus Forest Affected by Fire. *Terra Latinoamericana*, 28 (1)(Chapingo, México), 79–87.
- Casas, M. (2019). *Efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco – Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Celis, R., Jordán, A., & Martínez, L. (2013). *Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo*. 20. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/53599/capjordan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chavarry, L. (2017). *Incendio forestal en las provincias del departamento de Cajamarca*. 32.
- Denegri, A., Toranzo, L., Rubenacker, A., Campitelli, P., & Karlin, M. (2014). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo. *Cuaderno Activa, November*, 59–67. https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Karlin/publication/284267776_Efecto_de_los_incendios_forestales_sobre_las_propiedades_del_suelo/links/56504f0208aeafc2aab6da17/Efecto-de-los-incendios-forestales-sobre-las-propiedades-del-suelo.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*. 114.
- [https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2974/Heber Danilo_Dominguez Cespedes_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2974/Heber_Danilo_Dominguez_Cespedes_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fernández, J. A., Schroeder, M. A., Goldfarb, M. C., & Bernardis, A. C. (2010). Efecto De La Frecuencia De Quema Prescripta Sobre La Composición Mineral De Los Pastizales En El Nordeste Argentino Effect of Frequency Prescribed Burns on the Mineral Composition of Grasslands in Northeastern Argentina. *Ecología Aplicada*, 10(1).
- Gadow, K., Sánchez, S., & Álvarez, J. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. In *Gottingen, Alemania: Universidad de Gottingen*. (Vol. 2, Issue October).
- http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf
- Galantini, J. A., Suñer, L., & Iglesias, J. O. (2006). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *RIA: Revista Investigaciones Agropecuarias*, 35(1), 15–30.
- Gallego, H., Toro, E., & Rojas, R. (2013). Estado del arte:Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(2), 119–125.
- Garay, O., & Ochoa, A. (2010). Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro. In *Oscar Garay Canales*.
- <http://www.met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/datos/manual.pdf>
- Gaspar, J. (2012). *Efecto de la quema en las propiedades químicas y carbono orgánico en el suelo, en condiciones de selva alta en la microcuenca “la alcantarilla - Tingo María”, Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
- Gobierno Regional Cajamarca. (2018). *Línea base de flora y fauna del Bosque de Protección Pagaibamba, en el marco del proyecto “Recuperación de servicio ambiental hídrico del área de amortiguamiento del Bosque de Protección agaibamba, distrito de Querocoto, provincia de Chota, región Cajamar*. 224.
- Hepper, E., Urioste, A., Belmonte, V., & Buschiazzo, D. (2008). Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia Del Suelo*, 26(1), 29–34.
- Hernández - Sampieri, & Mendoza. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. 9(2), 1–13.
- Hidalgo, J. A. V., Landsberg, J., Bará, S., Paysen, T., & Alonso, M. (2000). *Efectos del fuego*

- prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. 123–136. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6931089.pdf>
- Khouri, A., & Prendes, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 15(3), 262–270.
- Lozano, Z., Hernández, R. M. H., Bravo, C., Rivero, C., & Delgado, M. (2012). *De Las Sabanas Bien Drenadas*. 37, 2012.
- Manna, Ludmila, Barroetaveña, & Carolina. (2011). Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *austrocedrus chilensis* afectados por fuego. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(1), 41–55.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837648003%0ACómo>
- Massa, E., Prado, D., & Feldman, S. (2017). Efecto del fuego o el corte sobre la producción y la calidad forrajera de un pajonal dominado por *Panicum prionitis*. *Revista Argentina de Producción Animal*, 37(1), 9–20.
- Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2013). Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. *Cuaderno Activa*, 59–67.
- Mataix, J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. *Contribución a Su Conservación y Regeneración*, 330.
- Minervini, M., Morras, H., Taboada, M. (2018). Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 28(1), 012–027. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.127>
- Minervini, M., Morrás, H., & Taboada, M. (2018). Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, 28(1), 012–027. <https://doi.org/10.25260/ea.18.28.1.0.127>
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7.
http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf
- Pacheco Isasi, A. E. (2019). *Arequipa – Perú 2019*.
- Petre, A., Panigatti, J., & Ferrer, J. (2012). *Diccionario de terminos edafologicos y otras voces asociadas*. 79.
- Pierson, F. B., Robichaud, P. R., Moffet, C. A., Spaeth, K. E., Williams, C. J., Hardegree, S. P., & Clark, P. E. (2005). Effects of Fire on Soil and Water. *Catena*, 9(2), 1–5.

- <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.03.011>
- RCTCUM. (2017). DECRETO SUPREMO N° 005-2022-MIDAGRI DECRETO (Decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor). *Diario Oficial*, 11. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-de-urgencia-que-establece-medidas-excepcionales-y-te-decreto-de-urgencia-n-090-2020-1874820-3>
- Rodríguez, M. P. R. (2010). *Manejo del fuego*. February, 240. <https://www.researchgate.net/publication/313385091>
- Rosales Sánchez, Y. (2019). (2019). *Estimación de áreas afectadas por incendios forestales y Para obtener el grado de Maestro en Geociencias Aplicadas Director de la Tesis : 85.*
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales.*
- Salamanca, A., & Sadeghinan, S. (2006). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana*. 56(4), 381–397.
- Sánchez Hernández, G. . (2018). *Aplicación exploratoria de nitrato de potasio para mejorar la calidad del fruto del duraznero (Prunus persica), en la zona de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura 2018 [Tesis de título, Universidad Técnica de Babahoyo].*
- Sánchez, J., de las Heras Ibáñez, J., & Sanz, J. (1991). *Impacto ecológico de los incendios forestales*. 13. file:///C:/Users/HP/Downloads/Dialnet-ImpactoEcologicoDeLosIncendiosForestales-1311669.pdf
- Senz, D. (2006). *Efecto de un incendio forestal sobre grupos funcionales bacterianos edáficos en una plantación de Eucaliptus cinerea (Suesca, Cundinamarca)*. 1–75. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8276/tesis258.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SERFOR. (2015). Ley N° 29763 y sus Reglamentos - Ley de Forestal y de Fauna Silvestre. *Ministerio de Agricultura y Riego*, 345. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2016/03/LFFS-Y-SUS-REGLAMENTOS.pdf>
- Soriano, M. (2018). Concepto de Capacidad de Intercambio iónico en el suelo. *Universidad Politécnica de Valencia, 1*, 1–8. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105088/Soriano - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO DEL SUELOS.pdf?sequence=1>
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del

suelo despues de un incendio forestal. *Edafologia*, 8, 41–49.

[https://www.secs.com.es/data/Revista edafo/partes volumen 8-1/paginas 41-49.pdf](https://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/partes%20volumen%208-1/paginas%2041-49.pdf)

Ulivarri, J., Benimeli, F., & Corbella, R. (2010). *Glosario de Términos Edafológicos*. 1–11.
www.edafologia.com.ar

Valdes, L., Martínez, L., Bonilla, M., & Castillo, I. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 60–65.

Zárate López, L. G. (2004). *Definición y clasificación de los incendios forestales*. 44.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6436/04CAPITULO2.PDF>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia interna

Efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años del incendio forestal del Bosque de Protección Pagaibamba – Querocoto, Chota.					
Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología	Población, muestra y muestreo
¿Cuál es el efecto del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo, después de 5,5 años del incendio forestal del bosque	H0: no existe efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo forestal del BPP - Querocoto después de 5,5 años del incendio.	General	Dependiente	Tipo y nivel de investigación	Población
		Determinar el efecto del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo después de 5,5 años de ser afectado por el incendio forestal en el BPP - Querocoto.	Propiedades físicas y químicas	La investigación es de tipo cuantitativa, y atribuye a un nivel descriptivo	La población lo conforma el suelo de áreas afectadas por el incendio forestal en el año 2016 y áreas no quemadas del Bosque de Protección Pagaibamba, ubicado en el distrito de Querocoto.
			Independiente	Diseño	Muestra

Pagaibamba – Querocoto?	<p>H1: existe efectos en las propiedades físicas y químicas del suelo forestal del BPP - Querocoto después de 5,5 años del incendio.</p>	<p>Específicos</p>	Incendio forestal	<p>Es no experimental, pues se evaluaron datos numéricos derivados de la evaluación de parámetros fisicoquímicos en dos condiciones de estudios (suelo afectado y no afectado por el fuego) generadas de manera natural, sin intervención del investigador.</p>	<p>La muestra lo constituye el suelo de 6 parcelas (tres en bosque incendiado y tres en la parte no quemada) de 600 m² cada una de las parcelas.</p>
		<p>Determinar las propiedades físicas y químicas en el suelo afectado por el incendio forestal en el BPP.</p>			<p>Muestreo</p>
		<p>Conocer las propiedades físicas y químicas en el suelo no afectado por el incendio forestal en el BPP.</p>			

		<p>Comparar el contenido de las propiedades físicas y químicas del suelo que ha sido afectado por el incendio forestal, con las propiedades físicas y químicas del suelo que no ha sido afectado por el incendio forestal.</p>	<p>Método de análisis de datos</p> <p>Se procesarán los datos en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25, aplicando análisis de normalidad, homogeneidad y análisis de varianza, posteriormente se realizará una prueba de comparación de medias de Tukey (alfa 0,05) entre</p>	<p>repeticiones, haciendo un total de 6 parcelas de evaluación.</p> <p>En la investigación no experimental se tomó muestras de suelo en donde han sido afectadas por el incendio forestal y de parcelas de suelo donde no ha sido afectada por el fuego, pero no se realizó ninguna manipulación de variables, se inició georreferenciando los puntos para las muestras del suelo. La georreferenciación se realizó con coordenadas UTM, utilizando un receptor GPS. Las muestras fueron distribuidas en dos</p>

				condiciones de estudios.	parcelas quemadas y dos parcelas no quemadas del bosque.
--	--	--	--	--------------------------	--

Anexo 2

Ficha de identificación de las muestras

DATOS DE LA MUESTRA			
Código de la muestra		Fecha de muestreo	
Procedencia		Fecha de ingreso	
Agricultor		Fecha de reporte	
Cultivo		Solicitante	
Área (ha)		Eedad de cultivo	
Código de campo		Profundidad de muestreo	
Topografía		Cultivos anteriores	

Anexo 3

Ficha de reporte de laboratorio



Detalles del documento:
 Tipo de documento: BOLETA DE VENTA ELECTRONICA
 Serie y correlativo: 8002-2051
 Fecha: 06-05-2022
 Hora: 07:59:51

Datos del emisor		Adquiriente / Usuario	
RUC: 705007700 Nombre: ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA VISTA FLORIDA - LAMBAYEQUE Dirección: Jr. Viracocha SIN LOS BAROS DEL INCA, CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA Sucursal: FFA, BAROS DEL INCA Teléfono:		Identificación: DNI - DOCUMENTO DE NACIONAL DE IDENTIDAD Número de identificación: 7376756 Nombre: RUFAYO PEREZ REVELARDO Dirección: JR. POLONALTY - LA MOLINA LOS BAROS DEL INCA CAJAMARCA DEPARTAMENTO CAJAMARCA PERU	

Cantidad	Unidad	Código	Código SUNAT	Descripción	Valor unitario	Importe
12.000	UNIDAD	99911	9	ANALISIS DE FERTILIDAD- TEXTURA + PARAM. HIDRICOS	S/ 46.519164015	S/ 559.52
12.000	UNIDAD	120	9	ANÁLISIS DE NITRÓGENO DE SUELOS	S/ 10.760226336	S/ 127.12
12.000	UNIDAD	023	9	ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN SUELOS	S/ 4.2574991499	S/ 51.05
12.000	UNIDAD	045	9	ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	S/ 10.593220339	S/ 127.12

Información adicional
 POR SERVICIO DE ANALISIS FERTILIDAD + TEXTURA + PARAM
 HIDRICOS - ANÁLISIS NITRÓGENO, ANÁLISIS CONDUCTIVIDAD
 ELECTRICA - ANÁLISIS CAPACIDAD DE INTERCAMBIO
 CATIONICO
 REF: COTIZACION N° 105-EEA-SI-2022
 EMITIDO EN EL JR. VIRACOCHA SIN - BAROS DEL INCA -
 CAJAMARCA

Total impuestos
 Total IGV 18%: S/ 155.59

Totales del documento
 Total Gravados: S/ 864.41
 Importe total de la venta: S/ 1.021.00

Monto en letra: UN MIL VEINTE Y 00/100 SOLES



Representación impresa de una boleta de venta electrónica
 Documento generado por THE FACTORY HKA
 Tel: (511) 719-3650 - <https://facturasec.thefactoryhka.com.pe/>
 Puede descargar su comprobante desde el sitio:
<https://factura.thefactoryhka.com.pe/consultadocumntos/>

INFORME DE ENSAYO

N° 050264-22/SU/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : KEVIN ARNOLD RUFASTO PEREZ
 Propietario / Productor : KEVIN ARNOLD RUFASTO PEREZ
 Dirección del cliente : JR POLONIA LT LA MOLINA BAÑOS DEL INCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 6
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : SAN LUIS - QUEROCOTO - CHOTA - CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : No proporcionado por el cliente
 Fecha de recepción de muestra(s) : 28/04/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 29/04/2022
 Cotización del servicio : D105-EEABI-2022
 Fecha de emisión : 19/05/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU0405-EEBI-22	SU0406-EEBI-22	SU0407-EEBI-22	SU0408-EEBI-22	SU0409-EEBI-22	SU0410-EEBI-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	--	--	--	--	--	--		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	--	--	--	--	--	--		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	PSQ 1 (0-10 cm)	PSQ 1 (10-20 cm)	PSQ 2 (0-10 cm)	PSQ 2 (10-20 cm)	PSQ 3 (0-10 cm)	PSQ 3 (10-20 cm)		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	4.00	3.70	4.00	3.80	4.50	4.00
Conductividad eléctrica	mS/m	--	0.051	0.026	0.060	0.068	0.072	0.053
Aluminio	%	--	0.25	0.75	0.45	0.50	0.15	0.35
Materia Orgánica	%	--	9.413	4.639	7.030	5.883	12.237	5.446
Fósforo	ppm	--	10.02	24.33	15.74	11.93	11.45	9.54
Potasio	ppm	--	180	165	180	170	205	180
Nitrogeno	%	--	0.406	0.357	0.399	0.693	0.483	0.651
Análisis de Textura								
Arena	%	--	66	72	60	78	76	72
Limo	%	--	8	6	18	4	4	6
Arcilla	%	--	26	22	22	18	20	22
Clase Textural			Fraco arenoso	Fraco arenoso	Fraco arenoso	Arena franca	Arena franca	Arena franca
Parametros Hidricos								
Capacidad de campo	%	--	17.79	15.68	17.35	13.57	14.49	15.68
Punto de marchitez	%	--	9.56	8.23	9.28	6.91	7.49	8.23
Agua disponible	%	--	8.23	7.45	8.07	6.66	7.00	7.45
Densidad aparente	g/ml	--	1.44	1.48	1.43	1.51	1.50	1.48

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.10 AS-10. 2000. Determinación de Fósforo.



INFORME DE ENSAYO

N° 050264-22/SU/BAÑOS DEL INCA

Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.2.6 AS-19. 2000. Determinación de Potasio.
Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Ítem 7.3.29 AS-33. 2000. Aluminio intercambiable.
Nitrogeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Kjeldahl.
Conductividad eléctrica	ISO 11265:1994 Soil quality — Determination of the specific electrical conductivity
Parámetros hídricos	Por cálculo

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C


Dr. Néstor Alejandro Cabrera Rojas
 DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF

INFORME DE ENSAYO

N° 050263-22/SU/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : KEVIN ARNOLD RUFASO PEREZ
 Propietario / Productor : KEVIN ARNOLD RUFASO PEREZ
 Dirección del cliente : JR POLONIA LT LA MOLINA BAÑOS DEL INCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 6
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : SAN LUIS - QUEROCOTO - CHOTA - CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : No proporcionado por el cliente
 Fecha de recepción de muestra(s) : 28/04/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 29/04/2022
 Cotización del servicio : 0105-EEABI-2022
 Fecha de emisión : 19/05/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU0399-EEBI-22	SU0400-EEBI-22	SU0401-EEBI-22	SU0402-EEBI-22	SU0403-EEBI-22	SU0404-EEBI-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	--	--	--	--	--	--		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	--	--	--	--	--	--		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	PQ 1 (0-10 cm)	PQ 1 (10-20 cm)	PQ 2 (0-10 cm)	PQ 2 (10-20 cm)	PQ 3 (0-10 cm)	PQ 3 (10-20 cm)		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unif. pH	--	3.50	3.70	3.50	3.50	3.70	3.40
Conductividad eléctrica	mS/m	--	0.079	0.048	0.318	0.023	0.101	0.029
Aluminio	%	--	0.75	0.65	0.60	0.75	0.50	0.90
Materia Orgánica	%	--	9.951	5.984	10.354	11.632	10.422	5.715
Fósforo	ppm	--	8.50	9.54	10.49	10.90	13.83	8.11
Potasio	ppm	--	155	165	155	160	165	150
Nitrogeno	%	--	0.518	0.336	0.483	0.378	0.588	0.343
Análisis de Textura								
Árrea	%	--	62	48	66	60	62	52
Limo	%	--	10	14	8	16	6	20
Arcilla	%	--	28	38	26	24	32	28
Clase Textural			Franco arenoso	Franco	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco
Parámetros Hídricos								
Capacidad de campo	%	--	19.16	24.23	17.79	18.11	20.25	20.37
Punto de marchitez	%	--	10.42	13.61	9.56	8.76	11.11	11.16
Agua disponible	%	--	8.74	10.62	8.23	8.35	9.14	9.19
Densidad aparente	g/ml	--	1.42	1.34	1.44	1.43	1.41	1.39

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.10 AS-10. 2000. Determinación de Fósforo.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.2.6 AS-19. 2000. Determinación de Potasio.



INFORME DE ENSAYO

N° 050263-22/SU/BAÑOS DEL INCA

Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. ítem 7.3.29 AS-33. 2000. Aluminio intercambiable.
Nitrogeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Kjeldahl
Conductividad eléctrica	ISO 11265:1994 Soil quality — Determination of the specific electrical conductivity
Parámetros hídricos	Por cálculo

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAJAMARCA


 Director General de Investigación y Desarrollo Científico y Tecnológico
DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF

PRODUCTOR
PROCEDENCIA

KEVIN ARNOLD RUFASO PEREZ
DISTRITO DE QUEROCOTO - PROVINCIA DE CHOTA -
CAJAMARCA

CODIGO DE MUESTRA	CIC (meq/100g suelo)
SU0399-EBBI-22	2.943
SU0400-EBBI-22	2.731
SU0401-EBBI-22	3.050
SU0402-EBBI-22	2.928
SU0403-EBBI-22	3.130
SU0404-EBBI-22	2.697
SU0405-EBBI-22	2.965
SU0406-EBBI-22	2.651
SU0407-EBBI-22	2.976
SU0408-EBBI-22	2.215
SU0409-EBBI-22	2.855
SU0410-EBBI-22	2.465

Interpretación: Suelos de reacción ácida y bajos niveles de sales solubles y deficientes de Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio que dan un bajo contenido de bases que hace necesario aplicar enmiendas Calcáreas y aplicación de Dolomita que funciona bien en la zona.



Ing^o Dante Bolivia Díaz
Jefe Laboratorio de Química y Suelos

Anexo 4

ANOVA de parámetros fisicoquímicos del suelo

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,776	3	,259	7,217	,012
	Dentro de grupos	,287	8	,036		
	Total	1,063	11			
MO	Entre grupos	43,428	3	14,476	3,143	,087
	Dentro de grupos	36,843	8	4,605		
	Total	80,271	11			
N	Entre grupos	,083	3	,028	2,943	,099
	Dentro de grupos	,076	8	,009		
	Total	,159	11			
K	Entre grupos	1825,000	3	608,333	6,791	,014
	Dentro de grupos	716,667	8	89,583		
	Total	2541,667	11			
CIC	Entre grupos	,608	3	,203	10,571	,004
	Dentro de grupos	,153	8	,019		
	Total	,761	11			
Arena	Entre grupos	673,000	3	224,333	7,478	,010
	Dentro de grupos	240,000	8	30,000		
	Total	913,000	11			
Limo	Entre grupos	210,667	3	70,222	4,213	,046

	Dentro de grupos	133,333	8	16,667		
	Total	344,000	11			
Arcilla	Entre grupos	185,000	3	61,667	3,246	,081
	Dentro de grupos	152,000	8	19,000		
	Total	337,000	11			
DA	Entre grupos	,018	3	,006	5,897	,020
	Dentro de grupos	,008	8	,001		
	Total	,026	11			

Anexo 5

Prueba de Kruskal Wallis

	CE	P
H de Kruskal-Wallis	8,436	2,869
gl	3	3
Sig. asintótica	,038	,412

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Profundidad

Anexo 6

Prueba de Tukey

pH

Profundidad	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
PQ 10 - 20 cm	3	3,533	

PQ 0 - 10 cm	3	3,567	
PSQ 10 - 20 cm	3	3,833	3,833
PSQ 0 - 10 cm	3		4,167
Sig.		,285	,215

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

CIC

Profundidad	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
PSQ 10 - 20 cm	3	2,44367	
PQ 10 - 20 cm	3	2,78533	2,78533
PSQ 0 - 10 cm	3		2,93200
PQ 0 - 10 cm	3		3,04100
Sig.		,064	,187

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Arena

Profundidad	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
PQ 10 - 20 cm	3	53,33	
PQ 0 - 10 cm	3	63,33	63,33
PSQ 0 - 10 cm	3	67,33	67,33
PSQ 10 - 20 cm	3		74,00
Sig.		,055	,158

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Limo

Profundidad	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
PSQ 10 - 20 cm	3	5,33	
PQ 0 - 10 cm	3	8,00	8,00
PSQ 0 - 10 cm	3	10,00	10,00
PQ 10 - 20 cm	3		16,67
Sig.		,533	,117

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

DA

Profundidad	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
PQ 10 - 20 cm	3	1,3867	
PQ 0 - 10 cm	3	1,4233	1,4233
PSQ 0 - 10 cm	3	1,4567	1,4567
PSQ 10 - 20 cm	3		1,4900
Sig.		,100	,120

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Anexo 7

Panel fotográfico

Figura 11

Foto de la calicata del suelo



Figura 12

Foto del método del cilindro



Figura 13

Foto de la toma de muestras

