



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

**Efecto de la quema de vegetación en las
propiedades físicas y químicas del suelo
Huancayo, 2016**

Jorge Alfieri Cáceres López

Huancayo, 2018

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

La investigación ha sido un largo proceso el cual no se hubiera finalizado sin la ayuda de la Universidad Continental, por haberme formado como profesional, la Universidad Nacional Agraria la Molina por apoyo en el análisis de las muestras de este estudio.

De igual manera a mi asesor de tesis el Ing. Andrés Azabache Leytón por brindarme las pautas para realizar esta investigación. A cada uno de los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental, por contribuir desde su especialidad a mi formación profesional.

A mis amigos Juan Carlos Cervantes, José Rivera y Gail Andrade por acompañarme a recoger las muestras para desarrollar esta investigación, a mis padres Hilda y Jorge por el apoyo incondicional y por ultimo a todas aquellas personas que directamente o indirectamente contribuyeron al desarrollo del presente trabajo de investigación

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres Hilda y Jorge, como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento, pilares fundamentales en mi vida, sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que tengo.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	6
1.1.2.1. Problema General.....	6
1.1.2.2. Problema Específicos	6
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Justificación e importancia	6
1.3.1. Justificación práctica	6
1.3.2. Justificación ambiental	7
1.3.3. Justificación metodológica	7
1.3.4. Justificación técnica	8
1.4. Hipótesis y descripción de variables	8
1.4.1. Hipótesis General.....	8
1.4.2. Hipótesis Especificas	9
1.4.3. Variables.....	10
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	12
2.2.	Bases teóricas	22
2.2.1.	Fundamentos teóricos de la investigación.....	22
2.2.1.1.	Efectos del fuego en el Suelo.....	22
2.2.1.2.	Propiedades químicas del suelo.....	24
A.	Modificaciones en el pH:.....	24
B.	Modificaciones en la Materia Orgánica y Nitrógeno	25
C.	Modificaciones en el Fosforo	26
D.	Modificaciones en la Conductividad Eléctrica	27
E.	Modificaciones en la Capacidad de Intercambio Catiónico	28
2.2.1.3.	Propiedades físicas del suelo.....	29
A.	Modificaciones en la estructura del suelo	29
B.	Modificaciones en la textura del suelo	31
C.	Modificaciones en la porosidad y densidad aparente	32
2.2.1.4.	Efectos del fuego en la vegetación	33
2.2.1.5.	Quema de pastizales	34
2.2.1.6.	Quema prescrita	36
A.	Tipos de quema	36
2.2.1.7.	Régimen del fuego.....	38
2.2.2.	Fundamentos metodológicos y técnicos.....	40
2.2.2.1.	Técnica de muestreo In Situ	40
2.2.2.2.	Métodos de Análisis Físico-Químico del suelo	41
A.	Textura	41
B.	Conductividad Eléctrica	42
C.	pH.....	43
D.	Materia Orgánica	44
E.	Fosforo Disponible	44
F.	Potasio Disponible	45
G.	Capacidad de Intercambio Catiónico	45
2.2.3.	Modelo teórico de la investigación	47
2.3.	Definición de términos:.....	48
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación	51

3.1.1.	Método de la investigación	51
3.1.2.	Tipo de investigación	55
3.1.3.	Nivel de investigación	55
3.2.	Diseño de investigación	55
3.2.1.	Tipo de diseño de investigación	55
3.3.	Población y muestra	56
3.3.1.	Población.....	56
3.3.2.	Muestra.....	56
3.4.	Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	56
3.4.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	56
3.4.2.	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	57
3.5.	Técnica de tratamiento de datos.....	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados del Tratamiento y Análisis de la Información.....	60
4.1.1.	Resultados del Análisis Físico del Suelo	60
4.1.1.1.	Contenido de Arena.....	60
4.1.1.2.	Contenido de Limo	61
4.1.1.3.	Contenido de Arcilla	62
4.1.1.4.	Densidad Aparente (DA)	62
4.1.2.	Resultados del Análisis de las Propiedades Químicas del Suelo.....	63
4.1.2.1.	pH.....	63
4.1.2.2.	La Conductividad Eléctrica (CE)	64
4.1.2.3.	La Materia Orgánica (MO).....	65
4.1.2.4.	Fósforo Disponible (P).....	66
4.1.2.5.	Potasio Disponible (K)	67
4.1.2.6.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	68
4.1.2.7.	Saturación de Bases (SB).....	69
4.2.	Prueba de hipótesis.....	71
4.3.	Discusión de resultados	72
4.3.1.	Propiedades Físicas.....	72
4.3.1.1.	Contenido De Arena	72

4.3.1.2.	Contenido de limo.....	72
4.3.1.3.	Contenido de Arcilla	73
4.3.1.4.	Densidad Aparente (DA)	73
4.3.2.	Resultados del análisis de las propiedades químicas del suelo	74
4.3.2.1.	pH.....	74
4.3.2.2.	La conductividad eléctrica (CE)	74
4.3.2.3.	La materia orgánica (MO)	75
4.3.2.4.	Fósforo disponible (P)	75
4.3.2.5.	Potasio disponible (K).....	76
4.3.2.6.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	76
4.3.2.7.	Saturación de Bases (SB).....	77
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		82
ANEXOS.....		93

TABLAS

1	Descripción de variables.....	10
2	Efectos del fuego en diferentes temperaturas.....	23
3	Lista de sistemas para la toma de muestras sólidas.....	40
4	Interpretaciones de los datos de conductividad.....	43
5	Datos de georreferenciación del muestreo de suelos.....	52
6	Instrumentos de investigación.....	57
7	Métodos de análisis físico-químico del suelo.....	57

FIGURAS

1	Mapa de fuego global generado por la acumulación de la ubicación del fuego detectado por MODIS durante un período de 10 días.....	02
2	El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) indica el número de incendios forestales en Junín en el 2015.....	04
3	El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) indica que estas “malas prácticas” son ilegales.....	05
4	Efecto del fuego en el ciclo de los nutrientes.....	28
5	Alteraciones en el flujo de nutrientes desde el complejo de cambio por efecto del fuego.....	29
6	Tipos de horizontes principales que puede presentar el perfil de un suelo..	30
7	Clasificación Granulométrica de suelos Atterberg.....	31
8	Esquema de las fases en la degradación de un bosque.....	33
9	Quema de pastos en zona alto andina de Perú.....	35
10	Diagrama de quema de avance y retroceso.....	37
11	Diagrama de quema de avance y retroceso.....	38
12	Componentes del régimen del fuego.....	39
13	Triángulo para determinar la textura del suelo a partir del análisis mecánico. La composición de las clases de textura son definidos por el USDA.....	42
14	Ubicación geográfica del estudio.....	53
15	Porcentaje de arena en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.....	61
16	Porcentaje de limo en el suelo con y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.....	61
17	Porcentaje de arcilla en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.....	62
18	Densidad aparente en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.....	63

19	pH del suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	64
20	Conductividad eléctrica en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	65
21	Materia orgánica en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	66
22	Fósforo disponible en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	67
23	Potasio disponible en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	68
24	Capacidad de intercambio catiónico en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	69
25	Saturación de bases en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	70
26	Acidez intercambiable en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.....	71

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia	93
ANEXO 2. Resultado del Análisis de Suelo.....	95
ANEXO 3: Acreditación del Laboratorio de la Universidad Agraria La Molina por el INACAL	96
ANEXO 4. Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2014).....	97
ANEXO 5. Mapas de Localización	100
ANEXO 6. Resultados del análisis de variancia	10303
ANEXO 7. Recolección de muestras en “Corona del Fraile”	11919
ANEXO 8 Etiquetado y Rotulado de las muestras	12828

RESUMEN

Objetivos: Determinar las características físicas y químicas de los suelos afectados por quema, muestreando a dos profundidades: 0 - 5 cm y 5 - 10 cm, en tres puntos al azar en el suelo con quema y dos puntos al azar en el suelo donde no hubo quema. **Métodos:** La investigación es del tipo aplicada, pues utiliza los principios de la ciencia del suelo, para aplicarlos a las propiedades de suelos, indicados mediante análisis, en dos condiciones: con y sin quema de vegetación. Se procesaron los datos de análisis de suelo mediante el análisis de variancia de cada una de las propiedades, posteriormente se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan para los promedios. Los datos se validaron externamente en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. **Resultados:** Los resultados del análisis de suelo, en sus propiedades físicas (textura y densidad aparente); y químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable) fueron analizados para observar su variación debido a la quema de vegetación. **Conclusiones:** Se concluyó que las separatas de limo y arcilla no presentaron diferencias significativas para quema, profundidad e interacción quema x profundidad. Si se observó diferencias estadísticas significativas entre el contenido de limo, siendo menor en el suelo con quema y a profundidad de 0 - 5 cm, que a la profundidad de 5 - 10 cm, mostrando el efecto de la quema en la disminución del tamaño de partícula. La densidad aparente fue mayor en el suelo quemado que en el suelo sin quema. Las propiedades químicas (pH, CE, materia orgánica, P y K, CIC, saturación de bases y acidez intercambiable), no tuvieron diferencias estadísticas significativas entre el suelo con quema de vegetación respecto al suelo sin quema, observándose ligeras variaciones.

Palabras clave: *quema de vegetación, propiedades del suelo, suelos con pastos.*

ABSTRACT

Objectives: To determine the physical and chemical characteristics of soils affected by burning, sampling at two depths: 0 - 5 cm and 5 - 10 cm, at three random points on the burning soil and two random points on the soil where no There was burning. **Methods:** The research is of the applied type, because it uses the principles of soil science, to apply them to the properties of soils, indicated by analysis, under two conditions: with and without vegetation. Soil analysis data were processed by analysis of variance of each of the properties, followed by Duncan's multiple comparison test for the averages. The data were validated externally in the laboratory of analysis of soils, plants, waters and fertilizers of the National University Agrarian The Molina. **Results:** The soil analysis results in its physical properties (texture and bulk density); And chemical (pH, electrical conductivity, organic matter, available phosphorus, available potassium, cation exchange capacity, base saturation and exchangeable acidity) were analyzed to observe their variation due to vegetation burning. **Conclusions:** It was concluded that the silt and clay leaves did not present significant differences for burning, depth and interaction between burn and depth. If significant statistical differences were observed between the silt content, being lower in the soil with burning and depth of 0 - 5 cm, than at the depth of 5 - 10 cm, showing the effect of burning on the decrease of particle size. The bulk density was higher in the burned soil than in the soil without burning. The chemical properties (pH, EC, organic matter, P and K, ICC, base saturation and exchangeable acidity) did not show significant statistical differences between the soil with burning of vegetation with respect to the soil without burning, with slight variations observed.

Keywords: *burning of vegetation, soil properties, soils with pastures.*

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural, del cual dependemos para nuestra alimentación y supervivencia en nuestro planeta, y que debe ser manejado y conservado, con prácticas en función de sus propiedades. Uno de los problemas que se tiene en el distrito de Huancayo es la quema provocada de la vegetación, que causa alteraciones en el suelo, especialmente en su capa superior, de la cual depende mucho el sistema radicular de las plantas que allí prosperan, sean cultivadas o naturales (pastos, arbustos).

En la zona de “Corona del Fraile” se tiene pastos naturales, con vegetación arbustiva, que, en época de verano, con las altas temperaturas, acompañadas por la falta de agua, tienen el riesgo de las quemaduras provocadas por el hombre, que, en algunos casos, se vuelven incontrolables, y alteran el suelo en sus diferentes propiedades. Estas quemaduras también pueden hacerse periódicamente con el fin de renovar pasturas o cambiar la vegetación predominante, pero debidamente programadas, pudiendo ser anuales, bianuales o con alguna otra frecuencia dependiendo del tipo de vegetación y propiedades del suelo, pues de lo contrario la ausencia de vegetación favorece la erosión del suelo, especialmente en estas zonas de laderas de colinas, donde la pendiente favorece la escorrentía, erosión y pérdida de suelo.

La alteración de las propiedades del suelo afecta su funcionamiento y productividad, incidiendo en su calidad, lo cual se agrava por la desaparición de vegetación natural, que deja expuesto al suelo a la pérdida por escorrentía superficial y erosión, procesos que conducen a la degradación del suelo y posterior desertificación. Es necesario determinar las propiedades que se alteran como resultado de la elevación

de la temperatura de quema de vegetación, para planificar su uso y evitar la pérdida de cubierta vegetal del suelo.

En el primer capítulo se puede ver de forma detallada el planteamiento y fundamentación del estudio, en el cual se presenta el siguiente problema: ¿Cuál es el efecto de la quema de vegetación en las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo, 2016?, identificando suelos afectados por quema involuntaria que han sido afectados en sus propiedades físico-químicas, especialmente en su capa superficial, por las altas temperaturas alcanzadas y pérdida de vegetación, dejándolos expuestos a la erosión. En el segundo capítulo se realiza una recopilación de antecedentes similares a la investigación y también se presentan las bases teóricas que sostiene todo el estudio. Se describe las metodologías empleadas en otros trabajos y se profundiza los algoritmos de recuperación y de corrección de los sensores empleados en la presente investigación. En base a la información descrita anteriormente se propone el modelo teórico de la investigación. Concluyendo con la definición de términos básicos.

En el tercer capítulo se detalla la metodología utilizada, en tal sentido se ahonda el tipo de estudio, su nivel, las técnicas, los instrumentos de recolección de datos y las herramientas que ayudaron a definir el aspecto metodológico de la investigación. En el capítulo final se presenta los resultados, y el análisis de la información mediante tablas y figuras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El suelo es el pilar de la estructura de la vida a nivel de coberturas vegetales y animales y de la conformación de los nichos necesarios para su sostenibilidad ambiental. Por tal razón, es fundamental conocer los efectos generados por el fuego, para así disminuir dichos impactos (1).

La quema de vegetación es un fenómeno global que ocurre en regiones tropicales, templadas y boreales. La quema de biomasa es una característica habitual en los bosques tropicales de Brasil e Indonesia, los bosques templados de los Estados Unidos y Europa, los bosques boreales de Siberia, China y Canadá, las sabanas tropicales de África y las tierras agrícolas de los Estados Unidos y Europa.

Para (2) citado por (3), se estima que, a escala global, entre 530 y 555 × 10⁶ hectáreas se ven afectadas por incendios cada año. Los incendios consumen anualmente de 10 a 15 × 10⁶ hectáreas de bosques boreales y templados, de 20 a 40 × 10⁶ hectáreas de bosques tropicales y de hasta 500 a 10⁶ hectáreas de sabanas tropicales y subtropicales, bosques y bosques abiertos.



Figura 1. Mapa de fuego global generado por la acumulación de la ubicación del fuego detectado por MODIS durante un período de 10 días.

Fuente: GIGLIO, y otros, 2003.

En la actualidad la quema de vegetación es una herramienta muy utilizada en las prácticas agrícolas, permitiendo el control de malezas, eliminación de desechos agrícolas después de la cosecha. En la ganadería se emplea para la eliminación del forraje que ha llegado a la madurez y que no llegó a ser consumido por los animales debido a su baja calidad. Esta práctica, tiene como uno de sus objetivos, estimular la producción de pastos con mayor valor nutritivo y eliminar el material seco poco apetecible por el ganado. También la quema de vegetación ha sido considerada como un factor esencial para describir el origen y mantenimiento de los ecosistemas de sabanas, en virtud de los cambios que producen en la composición florística y en el ciclaje de nutrientes del suelo. (17); según la FAO, puede ser considerado de dos maneras, uno es el fuego controlado o quema prescrita y el otro sin control. Cuando el fuego no es controlado puede llegar a ser destructivo; sin embargo, cuando se controla se puede usar para quemar un área predeterminada con el objeto de alcanzar ciertos resultados deseados. (4).

El manejo sostenible de los recursos naturales genera, cada vez, mayor importancia y en este sentido resulta fundamental el cuidado de los ecosistemas. Por ello, es importante estudiar el efecto que tienen las diversas actividades del ciclo productivo, en tal sentido, es donde el uso del fuego muchas veces juega un rol importante. (5)

El fuego puede causar importantes cambios en las propiedades físicas y químicas de suelos forestales incluyendo la densidad de volumen y estructura, incrementar la cantidad de cationes del suelo (6), y disminuir el contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) en la superficie de los suelos (7).

Las propiedades del suelo experimentan a corto plazo, a largo plazo, cambios permanentes por el fuego, que dependen principalmente de tipo de propiedad, gravedad, frecuencia de las quemas y condiciones climáticas posteriores al fuego (8).

En la sierra de Perú se presenta condiciones meteorológicas que favorecen la ocurrencia de incendios forestales y existe una creciente superficie afectada por estos eventos ya que no existe un programa de prevención y de extinción adecuado. Las regiones ubicadas a gran altitud, son ecosistemas frágiles, con volúmenes forestales considerables de especies inflamables como el eucalipto y el pino, y son por lo tanto una potencial superficie de incendios (6). El crecimiento de la población y la migración observada en los últimos años impulsan a aumentar rápidamente el peligro de incendios; el impacto del incremento de temperatura sobre la vegetación es más severo en áreas de elevada altitud que en áreas de baja altitud, por lo que la situación del peligro de incendios es más severa, así como las variaciones del incremento de la precipitación contribuyen a aumentar este peligro. Por lo tanto, el fuego se constituye en uno de los principales agentes de destrucción de las plantaciones forestales (7).

En Junín un total de 3 911 incendios forestales se registraron durante el año 2015, ante ello, el rol del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) es la de prevenir y sancionar dichos incendios, además de realizar análisis de los registros de focos de calor que emite el Instituto de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil. Lo que permite a la ATFFS Selva Central detectar en tiempo real estas ocurrencias y detectar a los responsables.

Serfor: 3,911 incendios forestales se registraron en Junín en el 2015

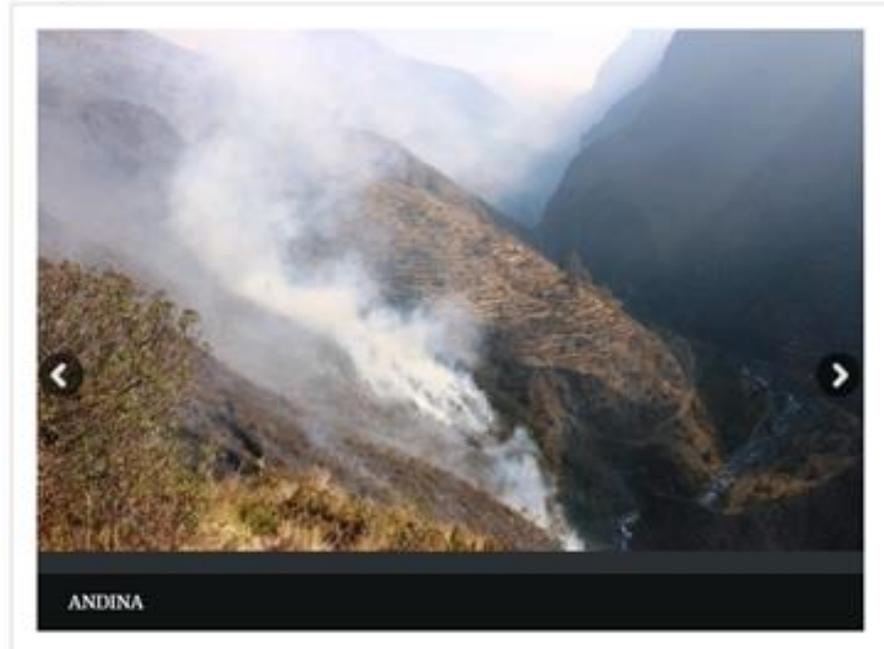


Figura 2. El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) indica el número de incendios forestales en Junín en el 2015.

Fuente: Elaborado por AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS: ANDINA, 2016.

No obstante, a pesar de pocas investigaciones que relacionan las quemadas de biomasa como fuente de alteración en las propiedades físicas y químicas del suelo y por el contrario los estudios se enfocan más en los efectos sobre la erosión. En el país, existe desconocimiento cualitativo y cuantitativo de los efectos biológicos causados por un incendio forestal en una plantación, así como de la respuesta de la vegetación y del suelo forestal al mismo. Esta situación no permite tomar decisiones técnicas ya que no se conoce con precisión la cantidad del recurso forestal disponible, así como las condiciones del suelo forestal posterior a sufrir una quema de vegetación (8).

Serfor: “Quemas de pastizales no son prácticas ambientalmente correctas ni legalmente aceptadas”

La directora ejecutiva del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Fabiola Muñoz Dodero, indicó que estas “malas prácticas” son sancionadas con multas no menores a 38 mil soles.

Por la Redacción Radio Madre de Dios - 26/09/2016 911 0

Compartir [f](#) Facebook [t](#) Twitter [G+](#) [p](#) Pinterest



Foto: Agencia Andina

Figura 3. El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) indica que estas “malas prácticas” son ilegales.

Fuente: Elaborado por MADRE DE DIOS RADIO, 2016.

Actualmente aún no se ha realizado con mayor detenimiento estudios relacionados al Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo, por lo que será un gran aporte para comprender el comportamiento de estas propiedades. En este contexto surge como problema de la presente investigación ¿Cuál es el efecto de la quema de vegetación en las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo, 2016?

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo, 2016?

1.1.2.2. Problema específicos

- a. ¿En qué medida la quema de vegetación afecta las propiedades físicas: textura y densidad aparente, en la zona “Corona del fraile” en la zona de Huancayo?
- b. ¿En qué medida la quema de vegetación afecta las propiedades químicas: materia orgánica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, pH, en la zona de Huancayo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las propiedades físicas: textura y densidad aparente del suelo en la zona “Corona del fraile”, afectado por la quema de vegetación de pastos, en la zona “Corona del Fraile”, del distrito de Huancayo.
- b. Determinar las características químicas: pH, CE, materia orgánica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, en un suelo que ha experimentado quema de vegetación, en la zona “Corona del fraile” en el distrito de Huancayo.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

Los suelos como recurso natural, deben ser evaluados en sus propiedades, considerando que son el sostén del crecimiento de las plantas; cuando estos son alterados por efecto de diversos agentes, como el fuego, sus propiedades van a cambiar, tanto en la parte física como química, siendo la textura la propiedad física más importante a ser evaluada, a pesar de su difícil modificación, que depende de la intensidad del fuego (9). Dentro de las propiedades químicas, el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de nutrientes, la saturación de bases y la acidez cambiante, las más importantes. Estos datos servirán para determinar el efecto de la quema en suelos con pastos, comparado a un suelo que no experimentó quema.

1.3.2. Justificación ambiental

Los estudios de la quema de vegetación sobre la superficie terrestre son necesarias para conocer como alteran las propiedades del suelo, y los organismos relacionados a este recurso natural, desequilibrando el ecosistema, por ello es importante el nivel de cambio de las propiedades del suelo que podrían afectar la vegetación en el ecosistema y su crecimiento.

Esta situación a gran escala puede producir fuegos de alta intensidad que pueden llegar hacer incontrolables produciendo incendios forestales; ocasionando efectos adversos en las zonas agrícolas y pastizales originando también contaminación atmosférica. Se espera, por medio de este trabajo, dar soporte en el estudio de las propiedades del suelo y ser un punto de partida en diversos estudios que involucren la quema de vegetación, llegando a ser herramienta importante en la toma de decisiones técnicas en el uso de este tipo de quema ampliamente utilizados en las regiones alto andinas del Perú y países aledaños.

1.3.3. Justificación metodológica

El procedimiento, técnicas, instrumentos utilizados en la investigación para analizar la influencia de las quemas de vegetación en la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo, podrán ser utilizados en otros trabajos de investigación o ser de aplicación para su mejoramiento.

Los datos empleados en el estudio fueron recolectados en dos zonas estratificadas, el primero zona que experimento quema y la segunda zona que no experimento quema.

El número de muestras de la zona que experimentó quema estuvo en función de los objetivos del estudio, presupuesto y posibles limitantes logísticas estudiadas por (10), considerando que esta zona tenía el carácter de ladera, es decir el factor topográfico era similar, con pendiente parecida, se eligió tres puntos, en un recorrido en “zig zag”; entonces cada punto se constituyó en una repetición del área a muestrear, para reducir el efecto de la heterogeneidad del suelo en los datos a analizar.

Este estrato (suelo quemado) se consideró como parcela uniforme, porque había sido afectado similarmente por el fuego y no se observó diferencias resaltantes sobre la superficie; lo cual se debió a la presencia de similar tipo de vegetación, pastos naturales.

Este tipo de muestreo es considerado dirigido o a juicio de expertos, donde el muestreo se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio y es evidente la extensión de la afectación, tomando como referencia la Guía de Muestreo de Suelos del (11).

En forma similar se realizó el muestreo de la zona que no experimentó quema, para lo cual se eligió dos puntos. En la profundidad de muestreo, se eligió dos profundidades: 0-5 cm y 5-10 cm, basado en:

- a. Antecedentes de investigación donde se utilizó esas profundidades de muestreo de suelos afectados por fuego (12), (13), (14), o dentro de esos rangos.
- b. Los fundamentos teóricos del efecto del fuego sobre el suelo, indican que además del efecto sobre la vegetación, el efecto sobre el suelo alcanza unos pocos centímetros desde la superficie del suelo (15), entonces si queremos evaluar el efecto del fuego, en base a estos fundamentos de la ciencia del suelo, se evaluó a dos diferentes profundidades, desde la superficie del suelo: 0-5 cm y 5-10 cm.

Finalmente, Estas muestras fueron etiquetadas y rotuladas y llevadas a un laboratorio certificado por el Instituto Nacional de Calidad como es el caso del Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria La Molina para su análisis.

1.3.4. Justificación técnica

La determinación del cambio de las propiedades del suelo va a darnos información de los efectos de la quema de vegetación como una práctica de manejo del suelo, que, al ser significativa, no debe seguir realizándose por causar deterioro del recurso natural y lógicamente al ecosistema. La disminución del contenido de nutrientes significa menor potencial productivo del suelo, y eso puede ser causado por la quema de vegetación, que es la principal fuente de materia orgánica del suelo.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

Hipótesis nula:

La quema de vegetación no altera las propiedades físicas (textura y densidad aparente) y las propiedades químicas (contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable) de los suelos en una zona de pastos "Corona del Fraile", distrito de Huancayo.

Hipótesis alternativa:

La quema de vegetación altera las propiedades físicas (textura y densidad aparente) y las propiedades químicas (contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable) de los suelos en una zona de pastos "Corona del Fraile", distrito de Huancayo.

1.4.1. Hipótesis General

H_i: La quema de vegetación altera las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo

H₀: La quema de vegetación no altera las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- a) H_i: La quema de vegetación altera las propiedades físicas: textura y densidad aparente, respecto a un suelo que no ha experimentado quema en la zona “Corona del fraile” del distrito de Huancayo.

H₀: La quema de vegetación no altera las propiedades físicas: textura y densidad aparente, respecto a un suelo que no ha experimentado quema en la zona “Corona del fraile” del distrito de Huancayo.

- b) H_i: La quema de vegetación altera las propiedades químicas del suelo: contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, respecto a un suelo que no ha experimentado quema, en la zona “Corona del fraile”, del distrito de Huancayo

H₀: La quema de vegetación no altera las propiedades químicas del suelo: contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, respecto a un suelo que no ha experimentado quema, en la zona “Corona del fraile”, del distrito de Huancayo

1.4.3. Variables

Tabla 1. Descripción de variables

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
X = Suelo con Quema de vegetación	Independiente	Práctica que afecta los bosques, arbustos, cultivos, residuos de cultivos, y organismos del suelo, con un breve pero dramático cambio en la temperatura alterando las propiedades de la superficie del suelo (16) .	Suelo alterado por la quema de vegetación	Suelo con quema de vegetación de pastos	Suelo que ha experimentado quema. Suelo que no ha experimentado quema.
	Dependiente	Componentes de la fase sólida y líquida del suelo en permanente interacción: pH, contenido de materia orgánica y nutrientes (16).	Contenido de materia orgánica en el suelo Concentración de iones H ⁺ en la solución suelo, medido por el método del potenciómetro Fósforo (P) disponible en el suelo	Alto, medio, bajo Acido, neutro, alcalino Alto, medio, bajo	% MO Unidades pH ppm P

Potasio (K) disponible en el suelo	Alto, medio, bajo	ppm K
Densidad aparente del suelo	Alto, bajo	DA = Mg/m ³
Concentración de sales solubles	Alto, bajo	CE = dS/m
Proporción de arena, limo y arcilla	Arena, franco...	Clase textural
Capacidad de intercambio catiónico	Alto, bajo, medio	CIC (cmol/kg)
Porcentaje de saturación de bases	Alto, bajo, medio	Sat. Bases (%)
Porcentaje de acidez intercambiable (H ⁺ y Al ⁺³)	Alto, bajo, medio	Ac. Interc. (%).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el artículo científico, que tiene como título “Cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo en una sabana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años”, se tuvo como objetivo presentar una comparación de los principales indicadores de calidad de suelos en la sabana protegida de la Estación Biológica de los Llanos, en Guárico Central, Venezuela, en relación a una sabana aledaña sometida a la quema y pastoreo característico de estas sabanas. Los autores estudiaron los cambios en características físicas, químicas y biológicas seleccionadas en muestras de suelos superficiales (0 - 15 cm) de un área bajo quema y pastoreo y otra protegida en donde no se practicó este manejo durante cinco años. Los resultados mostraron que en las sabanas protegidas de la quema y el pastoreo la fertilidad fue mayor, debido a un pH menos ácido y contenidos más altos de materia orgánica, bases cambiables, fósforo orgánico y total, y nitrógeno total, así como una menor compactación y más alta capacidad para almacenar agua. Adicionalmente, se observó una mayor actividad microbiológica debido al mayor contenido de C y N microbiano. En la sabana protegida del fuego y pastoreo la compactación fue menor, lo cual procura una mayor capacidad de almacenamiento de agua en el estrato superficial de suelo. Estos resultados

sustentan el efecto de la quema en sabanas, ecosistemas donde los pastos son predominantes (16).

En el artículo científico que tiene como título: "Responses of soil carbon, nitrogen and cations to the frequency and seasonality of prescribed burning in a Cape Cod oak-pine forest" se tuvo como objetivo evaluar los efectos de la frecuencia y estacionalidad del fuego sobre los suelos de una capa de bosque de pino y roble de la zona costera de Massachusetts, mencionan que el fuego es un importante componente del régimen histórico de alteración de bosques de roble y pino que ocupan suelos arenosos de la planicie costera del noreste de los Estados Unidos de América. Ellos compararon la densidad de volumen, pH, cationes extractables totales y nitrógeno (N) y carbono (C) del suelo en parcelas sin quemar y quemadas por un periodo de 12 años, a lo largo de una gradiente de frecuencia (cada 1 – 4 años), o en primavera (marzo/abril) o verano (Julio/agosto). La quema de verano disminuyó el espesor del horizonte orgánico del suelo más que la quema de primavera, pero solo la quema de verano cada 1- 2 años redujo los horizontes orgánicos comparados con los controles. La quema del suelo incremento la densidad de volumen del horizonte orgánico y la quema anual de verano no afectó la densidad de volumen del suelo mineral. La frecuencia de quema no tuvo efecto en pH en el suelo orgánico, pero la quema anual en verano incrementó el pH del suelo del suelo orgánico de 4.01 a 4.95, y el suelo mineral de 4.20 a 4.79. El quemado no tuvo efecto significativo sobre el suelo mineral en porcentaje de carbono, porcentaje de nitrógeno, relación C: N, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} cambiables o carbono o nitrógeno total del suelo. Los efectos totales de la quema sobre la química del suelo fueron menores. Estos resultados sugieren que la quema anual de verano puede ser necesaria para reducir el espesor de materia orgánica del suelo que podría regularse para permitir la germinación de la semilla de roble y especies de gramíneas que son objetivos de conservación de suelos. Estos resultados refieren el efecto de la quema de vegetación arbórea sobre las propiedades del suelo (17).

En el artículo científico que tiene como título: "Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties", se tuvo como objetivo evaluar y comparar los efectos directos e inmediatos de la tala y quema sobre las propiedades físicas a 0.05 y 0.05-0.10 m de profundidad con lombrices recolectados en la superficie de un Alfisol (Typic Kanhaplustalf) bajo bosque secundario y barbecho natural en el sur oeste de Nigeria. Reportaron que el método de limpieza del terreno, de tala y quema, es una parte integral del sistema agrícola tradicional, y es ampliamente practicado por casi el 90% de los agricultores en el sureste de Nigeria. Esto es frecuentemente un medio para limpiar la tierra y facilitar el camino para la

labranza cero. Estos investigadores seleccionaron dos lugares experimentales localizados sobre Alfisols para evaluar cambios en las propiedades físicas del suelo después de la quema. Los suelos y lombrices fueron colectados a una profundidad de 0.0 a 0.05 y 0.05 a 0.10 metros de profundidad antes y después de la quema. La conductividad hidráulica saturada y pruebas de infiltración de suelos antes y después del quemado fueron tomadas in situ. En respuesta al quemado, el volumen de poros se redujo y concomitantemente, las tasas de infiltración, sortividad y conductividad hidráulica se redujeron. Las tasas de infiltración, niveles de sortividad y conductividad hidráulica saturada disminuyeron significativamente después del quemado en 64.3, 58.9 y 64.3% respectivamente en el lugar 1, y en 47.9, 58.9 y 47.8% respectivamente en el lugar 2. El diámetro promedio de poros disminuyó significativamente después del quemado en 30.8 y 43.5% en el sitio 1 en la profundidad de 0.0-0.05 y 0.05-0.10 m, respectivamente, y en 46.2 y 44.7% en el lugar 2, a las profundidades de 0-0.05 y 0.05 - 0.10 m respectivamente. Una reducción apreciable pero no significativa fue registrada en agregados estables en agua para los suelos en ambos lugares. La materia orgánica disminuyó en 19.7% después del quemado; a pesar de eso la estabilidad de las lombrices mejoró después del quemado. La tala y quema no afectó la clase de suelo, pero hubo cambios apreciables en la distribución del tamaño de partículas de los suelos después de la quema. Los depósitos de cenizas en los espacios porosos son los responsables en un 0.8 a 3.0 % de la reducción en agua disponible en las profundidades de 0-0.05 y 0.05 – 0.10 m respectivamente, en el lugar 1; y en un 15.1 y 6.6% de reducción en las profundidades de 0.0-0.05 y 0.05-0.10 m respectivamente en el lugar 2 después del quemado. Un ligero incremento de 0.8% y 4.0% de la densidad de volumen fue registrada en ambas profundidades. Este estudio mostró que la tala y quema puede tener un impacto directo sobre las propiedades físicas del suelo de un Alfisol (18).

En el artículo científico que tiene como título: “Organic matter, pH and nutrient distribution in soil layers of a savanna Thornveld subjected to different burning frequencies at Alice in the Eastern Cape”, tuvo como objetivo cuantificar la influencia de la frecuencia del quemado de pastos sobre las propiedades del suelo especialmente materia orgánica, pH, Ca, Mg, K, Na intercambiables y P extractable, realizaron un experimento en la Estación Experimental de la Universidad de Fort Hare, distante a unos 4 km del pueblo de Alice, Sur África. Las muestras de suelos fueron colectadas de diferentes profundidades en parcelas de un experimento antiguo de 17 años de edad donde las frecuencias de quema fueron: sin quema (B0), anual (B1), Trienal (B3), y sexenal (B6). La tierra sometida a continuo pastoreo y

no quemado (G) y los espacios entre las parcelas (R) también fueron muestreados para comparación. El quemado incrementó significativamente ($p < 0.05$) el pH y la concentración de Ca, Mg, Na y K pero redujo el Carbono orgánico y P extractable del suelo. Las propiedades del suelo difieren significativamente entre las capas superficiales (0-10 cm) y bajas (10-40 cm): Ca, Mg, Na y el pH incrementó con la profundidad mientras que el K, Carbono orgánico y P extractable disminuyó con la profundidad del perfil. El Carbono orgánico del suelo estuvo en el orden de $BO > G > B3 > B6 > B1 > R$. La tendencia en la distribución del P extractable en el perfil del suelo reflejó el contenido de Carbono orgánico sugiriendo que la mayor parte del P fue orgánica en la naturaleza. Se concluyó que el fuego puede hacer una contribución significativa a la distribución de nutrientes en un suelo con pastos por la rápida mineralización en la biomasa sobre la capa superficial de suelo. Sin embargo, preocupa la sostenibilidad de un sistema de manejo por fuego, en vista de la alta pérdida de carbono, nitrógeno y azufre de la biomasa durante el quemado. Considerando la importancia de la materia orgánica en el mantenimiento de la fertilidad y productividad, el uso de otros métodos de ciclaje de nutrientes y redistribución podría ser fomentado (19).

En el artículo científico que tiene como título: "Small grains stubble burning and tillage effects on soil organic C and N, and aggregation in northeastern Saskatchewan", tuvo como objetivo determinar los efectos de la labranza y quema de residuos de cultivo sobre el Carbono Orgánico Total (TOC), N orgánico total (TON), materia orgánica en la fracción particulada (LFOM), carbono orgánico en la fracción particulada (LFOC), nitrógeno orgánico en la fracción particulada (LFON), y agregación del suelo, condujeron experimentos de campo por 5 años (2000-2004) en dos lugares (Star City y Birch Hills) en la región del parque Saskatchewan, Canadá, dos tratamientos de labranza (labranza cero, ZT; labranza convencional, CT, con una labranza en otoño y otro en primavera) y dos quemas (quema de residuos en otoño, B; residuos no quemados e incorporados al suelo, NB) fueron combinados en una rotación de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y canola (*Brassica napus* L.). Después de cinco estaciones de cultivo, la masa de TOC y TON en el suelo de 0-15 cm tiende a ser mayor, mientras que la masa de LFOM, LFOC y LFON fue significativamente mayor en los tratamientos NB que en los tratamientos B en ambos lugares. La labranza cero resultó en mayor TOC, TON, LFOM, LFON y LFON en el suelo con CT, en ambos tratamientos NB y B. La masa de TOC, TON, LFOM, LFOC, y LFON en el suelo fue el más alto en el tratamiento ZT-NB, y el más bajo en el tratamiento CT-B. La labranza cero tuvo una baja proporción de agregados finos (< 0.83 mm

de diámetro) y una mayor proporción de agregados grandes (>6.4 mm de diámetro) en ambos lugares, pero el diámetro promedio (MWD) fue mayor bajo ZT que bajo CT solo en Birch Hills. Aunque la interacción labranza x quema no fue significativa en la mayoría de los casos, el tratamiento ZT-NB usualmente tuvo la más baja proporción (22.6%) de agregados finos y la mayor proporción (47.1%) de agregados grandes, comparado a la más alta (34.9%) y la más baja proporción (35.6%) de estos agregados, respectivamente, en el tratamiento CT-B. Esto indica un reducido potencial para la erosión del viento cuando se omitió la labranza (ZT) y los residuos de cultivo fueron incorporados al suelo (NB). La incorporación de residuos de cultivo al suelo antes que la quema de residuos usualmente incrementó el carbono y nitrógeno orgánico del suelo, también la agregación, pero las diferencias entre tratamientos fueron de mayor magnitud entre los tratamientos de labranza (ZT versus CT) que entre los tratamientos de quema (B versus NB). En general, la incorporación de residuos de cultivo junto con ZT mejoró carbono orgánico, nitrógeno orgánico, y agregación, mientras que la quema en combinación con CT resultó en el deterioro de estas propiedades del suelo (20).

En el artículo científico que tiene como título: "Impact of fire on soil nutrients in central semiarid Argentina", tuvo como objetivo estudiar los efectos inmediatos de dos quemadas controladas sobre el carbono orgánico (CO), y sobre el nitrógeno (N), fósforo (P), y azufre (S) total y disponible, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), y cationes intercambiables, de la superficie de los suelos (0-5 cm) de la región sureste de Caldenal, Argentina. Se realizó un muestreo anualmente durante tres años entre quema y quema. El suelo cubierto con vegetación arbustiva no quemada inicialmente tuvo mayor concentración de nutrientes totales y disponibles que los suelos cubiertos con vegetación herbácea. Los valores de pH y CIC del suelo fueron ligeramente más bajos en el suelo con arbustos. La primera quema controlada generalmente causó un efecto benéfico en los elementos totales inmediatamente a un año y dos después de la quema. También causó un considerable aumento de los nutrientes disponibles que fue más persistente debajo de la vegetación arbustiva. Los cambios fueron temporales y generalmente, los niveles de nutrientes regresaron a los niveles de los suelos no quemados durante el segundo a tercer año después de la quema. Por otro lado, una segunda quema controlada experimentada tres años después mostró tener un efecto no medible sobre la mayoría de propiedades del suelo, pero se observó una disminución del S total en el suelo con pastos y el nitrógeno nítrico en suelo con árboles, señalando el riesgo de una disminución de la fertilidad del suelo. Consecuentemente, los autores afirman que son necesarios posteriores estudios en la región del Caldenal para evaluar los cambios en los suelos bajo

circunstancias de diferentes frecuencias de fuego. Estas variaciones encontradas permitirán explicar el comportamiento de las propiedades del suelo ubicado en “Corona del Fraile”, y estimar los riesgos o beneficios generados (21).

El artículo científico que tiene como título “Cambios en el carbono orgánico y en propiedades físicas del suelo después de incendios de distinta severidad”, tuvo como objetivo evaluar los cambios producidos por el fuego en el contenido de carbono orgánico, la estabilidad de los agregados y la repelencia al agua del suelo mineral superficial 0-2 cm de profundidad inmediatamente después del fuego, utilizando como metodología la clasificación visual con cinco categorías de severidad del fuego en el suelo. La investigación conduce a mostrar clasificación visual en función al grado de alteración de cubierta orgánica y suelo superficial comparándose suelos por nivel de severidad del fuego. El trabajo aporta al brindar una metodología de clasificación visual de la severidad del fuego y refleja cambios que favorecen las pérdidas de suelo por erosión tras incendio (22).

El artículo científico que tiene como título: “Variaciones en profundidad de las propiedades de un suelo yesoso forestal bajo quema controlada ”, se tuvo como objetivo determinar la profundidad de los efectos de un fuego controlado sobre un suelo forestal, dando importancia a la repelencia al agua, la materia orgánica del suelo y la estabilidad de los agregados, utilizando como metodología el muestreo de seis bloques inalterados de suelo (Gypsisol hipergípsico) de 20 x 20 x 20 cm³, tres de los bloques se han sometido a una quema controlada y otros tres han permanecido inalterados. La investigación presenta como resultado que la quema produce una pérdida de C orgánico además de pérdida de repelencia en el horizonte O y el Ah (1cm y a 2 cm de profundidad) respectivamente. El trabajo concluye que también se observó cambios significativos en la mayor parte de las propiedades estudiadas (23).

En el artículo científico que tiene como título: “Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sábana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego”, se tuvo como objetivo evaluar el efecto de distintas historias de fuego de una sábana de *E. muticus* del Parque Chaqueño Semiárido sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo vinculadas con el contenido de carbono y del nitrógeno del suelo, para proporcionar pautas que contribuyan a la prescripción del fuego como herramienta de manejo sostenible en ambientes áridos. El suelo fue descrito como un Torriorthentic Haplustoll. Las frecuencias de fuego fueron caracterizadas como: alta (un fuego cada año), media o normal (un fuego cada 3 a 4 años), y baja (un fuego cada 10 años). Se evaluó a dos profundidades del suelo, 0 cm -

2.5 cm y 2.5 cm - 7.5 cm: el contenido de carbono orgánico total del suelo (COT) y nitrógeno total del suelo (NOT), carbono en la materia orgánica particulada (COP), así como contenido de nitrógeno nítrico en el suelo (N-NO₃-), respiración del suelo y nitrógeno en la biomasa microbiana (NBM). El carbono en la materia orgánica total fue más bajo las áreas de alta frecuencia de fuego, que bajo las de media y baja frecuencia. El carbono orgánico total del suelo, NOT, N-NO₃- y NBM fueron bajos bajo fuegos de alta frecuencia, que, bajo fuegos de media o baja frecuencia, que no se diferenciaron entre ellas. El carbono orgánico particulado y el NOP también fueron bajas en alta frecuencia de fuego, y fueron más sensibles que COT y NOT a los efectos de la historia del fuego. No hubo diferencias en la respiración del suelo entre las historias de fuego. Estos resultados mostraron que la repetida quema reduce la materia orgánica del suelo, así como la actividad biológica y puede incrementar la susceptibilidad del suelo al proceso de erosión. Sin embargo, bajo áreas de frecuencia normal y media de fuego las cantidades de nitrógeno orgánico y carbono mostraron alta disponibilidad de nitrógeno (24).

En el artículo científico que tiene como título: “Efecto de una quema controlada sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la SAIS Túpac Amaru-Junín, Perú”, tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de las quemas de pastizales en las poblaciones microbianas. El trabajo se llevó a cabo en Champacancha, distrito de Canchayllo, unidad de producción Pachacayo de la Sociedad Agrícola de Interés Social Túpac Amaru Ltda., a una altitud de 4 100 msnm. Cada parcela tuvo un área de 1 250 m², uno con quema y otra sin quema, con la asociación agostológica *Festuchetum – Calamagrostetum*. El muestreo de suelos se realizó a una profundidad de 10 cm, 2 cm de ancho y 15 cm de largo, obteniendo un número de 12. Dos semanas después de la quema, la recuperación de los pastos era bastante buena y en dos meses los pastos tenían abundantes rebrotes. La disminución en las poblaciones de bacterias aerobias mesófilas viables y de hongos después de la quema no fue significativa. Se concluye que la quema de pastizales no parece tener un efecto significativamente negativo sobre los microorganismos del suelo, bajo la condición experimental conducida. Los elementos minerales y las características del suelo tampoco se vieron afectadas por la quema controlada realizada en la zona (25).

El artículo científico que tiene como título “Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia” tuvo como objetivo identificar diferencias en las características del suelo estudiado en zonas afectadas y no afectadas de quema. La investigación presenta como resultados que la quema en la zona

Parque Nacional Natural de Los Nevados fue considerablemente negativo, lo cual es evidente en los cambios de las propiedades físicas y químicas del suelo y la fragilidad del suelo a la degradación además de la baja densidad encontrada en el estudio hace el suelo más susceptible a la erosión. El trabajo concluye que los efectos más graves sobre el suelo después del incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados fue la pérdida de materia orgánica, esta pérdida afectó a otras propiedades como la porosidad, la densidad aparente, la conductividad hidráulica, la permeabilidad y la estructura del suelo (26).

En la investigación: “Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el Municipio de Cumaribo, departamento del Vichada”, en el Departamento de Ciencias Contables Económicas y Administrativas, Caldas, Colombia, en el 2016. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El incremento de algunos nutrientes del suelo en el corto plazo es uno de los beneficios de la quema de vegetación, pero a mediano y largo plazo la quema puede llegar a ser perjudicial para la producción vegetal debido a las salidas de nutrientes del sistema por volatilización y lixiviación.
2. La rápida mineralización de la materia orgánica junto con la salida hacia la atmósfera de una importante fracción de los nutrimentos contenidos en la vegetación, es la consecuencia más notable de la quema en el ciclaje de nutrimentos.
3. El porcentaje de Arcilla disminuyó significativamente, la alteración de los agregados que une la MO conlleva a pérdidas de partículas finas como las de Limo y Arcilla las cuales se terminan de dispersar por la lluvia, el viento y otros factores externos a otros lugares.
4. El valor de pH mostró un aumento considerable debido al aporte de cationes procedente de las cenizas, aunque dependa de la intensidad de la quema (12).

El artículo científico que tiene como título “Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico” tuvo como objetivo cuantificar los efectos de la quema a distintas temperaturas (entre 100 °C y 500 °C), en propiedades físicas y químicas de dos suelos con distinta composición granulométrica y uso antrópico. La investigación presenta como resultados que variables que presentaron comportamiento similar frente a las diferentes temperaturas de calentamiento analizadas, independientemente del material geológico inalterado y las condiciones de uso del suelo, fueron Carbono Orgánico, pH, Conductividad Eléctrica y Capacidad de Intercambio Catiónico. El trabajo concluye que las variables edáficas que describieron el comportamiento de los suelos frente al calentamiento fueron el Carbono Orgánico, el pH, el Nitrógeno Total y

la Capacidad de Intercambio Catiónico. A 300 °C se registraron cambios estadísticamente significativos para los parámetros edáficos analizados con respecto al suelo control (27).

El artículo científico que tiene como título “Impacto ambiental de la quema prescrita de un pastizal sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo” tuvo como objetivo estudiar el comportamiento del fuego mediante la observación de diferentes parámetros cuantitativos además de determinar si este tiene un efecto sobre los contenidos de materia orgánica y nitrógeno del suelo. La investigación presenta como resultados que las temperaturas registradas en las quemaduras; fueron en la superficie del suelo superiores a los 288 °C; 149 °C a 0.5 cm y temperaturas menores a los 59 °C a 2 cm de profundidad. El trabajo concluye que la quema prescrita en forma anual, no tuvo un efecto significativo sobre los contenidos de MO y N del suelo. El impacto de la quema, para las variables estudiadas, en este ambiente y bajo las condiciones del ensayo no tendría un efecto negativo (31).

En la investigación: “Efecto del fuego sobre algunas características nutrimentales en el suelo de un bosque de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo”, en la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, el año 2007, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El fuego de intensidad moderada afecta positivamente la disponibilidad de algunos nutrimentos en el suelo como son: P, Ca, Mg, SO₄, Zn, Mn, además incrementa el pH.
2. Existen nutrimentos como el N, K, Fe y Cu que reducen su contenido en el suelo, este comportamiento también lo presentaron la materia orgánica y el carbono orgánico.
3. Se observó que el fuego de intensidad moderada no destruyó la vegetación arbórea (28).

En la investigación: “Efectos de los incendios forestales en la degradación física de los suelos de Galicia”, en el Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo, Facultad de Biología de la Universidad de Vigo, España, en el 2007, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Del conjunto de parámetros que se analizaron en los suelos quemados se puede diferenciar un primer grupo que se caracteriza por presentar un mismo patrón de comportamiento en todos los suelos, es decir, o bien aumentan o bien disminuyen por efecto de los incendios en la mayor parte de los suelos estudiados. En este grupo se incluyen el pH, cationes de cambio y Cbiomasa.
2. El fuego favorece un aumento de pH e incrementa la disponibilidad de los nutrientes en la superficie de los suelos quemados. Los cationes divalentes experimentan un incremento ligeramente superior a los monovalentes.

3. La biomasa microbiana disminuye de manera importante en la casi totalidad de los suelos después del paso del fuego, disminuyendo también la relación Cbiomasa/Corg lo que indicaría que los suelos quemados contienen menos materia orgánica fácilmente biodegradable (35).

En la investigación: “Avance en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales”, en Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la Universidad Miguel Hernández de Elche, España, el año 2016, la investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El fuego produjo un aumento de la repelencia agua suelo, solo bajo la presencia de pino y no bajo matorral. El comportamiento de esta propiedad tras el impacto del fuego y a lo largo del proceso de evolución post incendio fue significativamente diferente respecto a la zona no afectada por el fuego. Durante los primeros años la repelencia tendió a disminuir. El tipo de vegetación dominante en la zona afectada y la presencia de las cenizas generadas por la combustión, en los primeros centímetros del suelo juegan un papel importante en el comportamiento de esta propiedad tras el paso del fuego.
2. La estabilidad de los agregados del suelo se ve incrementada con temperaturas altas de calentamiento. Según los resultados obtenidos este aumento es principalmente debido a las alteraciones mineralógicas producidas sobre la superficie de los agregados por el efecto del calentamiento de la superficie.
3. La repelencia al agua en suelos quemados es sensible a la humedad relativa del aire. Este efecto es ligeramente mayor cuanto mayor es la humedad relativa del aire. Dicho comportamiento se observa a las temperaturas de calentamiento de 250, 300, 350 °C y en las muestras tomadas bajo pino (75).

En el artículo científico que tiene como título: “Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sábana de *Trachypogon*”, se tuvo como objetivo evaluar las pérdidas de nutrientes provocadas por la quema de la vegetación herbácea en una sábana de *Trachypogon* sometida a quema y bajo pastoreo de bovinos, el cual es el uso más común de estas sabanas ampliamente distribuidas en las planicies no inundables de Venezuela y Colombia. En los suelos protegidos, los contenidos de materia orgánica, potasio (P) y potasio (K) disponible y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) fueron superiores. La ausencia de diferencias para Mg, Ca y N, pueden estar relacionadas con el bajo contenido de estos elementos en la vegetación y en consecuencia lo insignificante que representan sus pérdidas por esta vía, en comparación al capital del suelo. Adicionalmente las pérdidas pueden

ser compensadas por las entradas por precipitación o el aporte de nutrientes disponibles a través de la meteorización del material parental (17).

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Fundamentos teóricos de la investigación

2.2.1.1. Efectos del fuego en el suelo

Mucho del significado ecológico del fuego gira en torno a sus efectos sobre el suelo. El fuego tiene impactos muy notorios en un rango de componentes bióticos y abióticos del ecosistema suelo, y es importante el conocimiento de estos impactos al emplear el fuego como una herramienta para el manejo de los agroecosistemas. Sin embargo, debe notarse que los efectos del fuego variarán mucho dependiendo del tipo y etapa de desarrollo de la vegetación, del tipo de suelo, de la época de quema, de las condiciones climáticas prevalecientes, del tiempo transcurrido desde el fuego y de otras condiciones (18).

La quema tiene cinco efectos benéficos (18): (i) la limpieza de la vegetación indeseable del terreno. La alteración de la estructura edafológica, que facilita la siembra y plantación; el calor del fuego modifica la textura del suelo y lo hace más desmenuzable. Caminar sobre un campo quemado es como caminar encima de pequeños cojinetes que ruedan por debajo del pie. Esta tierra floja es más fácil de trabajar con un plantador y constituye un buen semillero, (ii) mejoramiento de la fertilidad del suelo con las cenizas. Cuando se quema la vegetación se depositan grandes cantidades de cenizas, ricas en nutrientes, en la superficie del suelo, con lo cual los cultivos recién plantados reciben los beneficios de la biomasa que ha crecido en el sitio, (iii) disminución de la acidez del suelo. Puesto que las cenizas vegetales suelen ser alcalinas, la quema incrementa el pH del suelo. Esto ayuda a superar uno de los problemas más graves de los suelos tropicales, la toxicidad del aluminio, por cuanto un incremento en el pH del suelo reduce el aluminio intercambiable, (iv) mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo. El calentamiento del suelo permite que los nutrientes almacenados estén más accesibles para las plantas, (v) esterilización de los suelos y reducción de las poblaciones de insectos, microbios y malezas. El calentamiento de los suelos controla la maleza y reduce las poblaciones de insectos, nematodos y diversos patógenos. La eliminación de las semillas de las malezas significa que habrá que deshierbar menos; por ello, los agricultores de corte y quema asocian el bosque alto y las buenas quemas “calientes” con poco deshierbo y altos rendimientos.

Después del fuego, hay generalmente una disminución en la capacidad de retención de humedad del suelo, aunque con la remoción de la cobertura vegetal, la disponibilidad real de humedad en el suelo puede aumentar debido a una menor demanda. Se reduce el tamaño de los agregados del suelo, aumenta la densidad aparente y se reduce también la permeabilidad y la tasa de infiltración de agua. Con frecuencia hay también un aumento en la escorrentía pluvial y la lixiviación de nutrimentos y la posibilidad de mayor erosión edáfica, hasta que el suelo sea cubierto nuevamente con vegetación. No es extraño que justo después del fuego la superficie inmediata de este se vuelva repelente al agua, condición que habitualmente se supera luego de una corta exposición a la humedad (18).

Las alteraciones de las propiedades químicas del suelo por el fuego, generalmente son positivas, pues se aportan nutrientes retenidos en los vegetales que son devueltos al suelo con las cenizas, claro si estas no se pierden en el lavado del suelo por la lluvia. Estos nutrientes como sales minerales de calcio, magnesio, potasio, etc., se aportan con las cenizas, así como el fósforo aumentando la fertilidad que aprovecha preferentemente la vegetación que se regenera después del fuego en un corto plazo. (19)

Tabla 2. Efectos en los suelos en diferentes temperaturas.

Temperatura °C	Efecto en el suelo
50-60	Temperatura letal para el protoplasma de las plantas
100	Descomposición de algunos componentes de nitrógeno en el suelo
100-200	Temperatura letal para hongos y bacterias; evaporación de agua
200-300	Pérdida del 50% de nitrógeno. Empieza a disminuir el pH. Desaparición de algunos componentes de la materia orgánica. Aumento de amonio, fósforo, calcio magnesio y sodio. Descenso de la capacidad de absorber agua del suelo y su plasticidad. Incremento de la fracción arena. Incremento/disminución de la estabilidad estructural. Incremento/disminución de la porosidad según textura
300	Desaparición por calcinación de la materia orgánica
315	Incremento del pH del suelo. Disminución de la capacidad de intercambio catiónico.
315-400	Pérdida del 75% de nitrógeno
400-550	Descenso de calcio, sodio, magnesio, desaparición de amonio, aumento progresivo de potasio. Descenso más drástico de la absorción de agua y de la plasticidad. Desaparición total de los residuos orgánicos.

550-700	Destrucción total de la materia orgánica. Pérdida de los OH de las arcillas, aumento de pH. Aumento de sodio y potasio. Descenso de la estabilidad estructural.
700-900	Oxidación del suelo, cambios irreversibles de las arcillas, descomposición de los carbonatos. Incremento de calcio, magnesio, descenso de potasio. Aumento de la absorción de agua, pero no de plasticidad.

Fuente: extraído del artículo "influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal" perteneciente (20).

2.2.1.2. Propiedades químicas del suelo

A. Modificaciones en el pH

El pH influye en la actividad de microorganismos de tal modo que, en los suelos con pH ácido, la materia orgánica se descompone más lentamente y disminuye el aporte de los nutrientes en ella retenidos por su baja velocidad de mineralización. El pH del suelo aumenta inexorablemente debido al calentamiento del suelo como resultado de la desnaturalización de los ácidos orgánicos. Sin embargo, los aumentos significativos de temperatura, ocurren solo a altas temperaturas entre 450 y 500 °C (21). Los aumentos de pH pueden llegar a favorecer la actividad de los microorganismos y, por tanto, los procesos relacionados con ellos; aunque, la variación del pH también puede dar lugar a problemas de nutrición vegetal, al impedir la asimilación de algunos nutrientes (22).

El pH aumenta después de la quema y baja gradualmente con el tiempo debido a la lixiviación de las bases. La magnitud y la rapidez de estos cambios varían de acuerdo con las propiedades del suelo y las cantidades de ceniza (23). En un Alfisol de Ghana (24) encontraron que el pH aumentó de 5.2 a 8.1 en la capa superior de 5 cm inmediatamente después de la quema, y bajó a 7.0 después de dos años. En las capas de 5 a 15 y de 15 a 30 cm el pH aumentó de 4.9 y 6.2 con la quema y descendió a 5 después de dos años.

Estudios en la selva amazónica indican que los aumentos de pH con las quemas son de diferente orden de magnitud en suelos más ácidos. Se observó que el pH de un Latosol amarillo (Oxisol) aumentó en la capa arable de 3.8 a 4.5 con la quema, y bajó rápidamente a su valor original en unos 4 meses (24). Otro reporte en Perú (25) encontró que el pH aumentó de 4.0 a 4.5 en la capa arable de un Ultisol y que permaneció estable en este nivel durante el

primer año. Las cantidades menores de bases en las cenizas de estos suelos ácidos minimizan los aumentos en pH.

B. Modificaciones en la materia orgánica y nitrógeno

Para (26) citado por (5) El fuego llega a influir en la cantidad de nitrógeno que se encuentra en el suelo de varias formas alterando aquel que se encuentre en la materia orgánica sobre el suelo reduciéndola un lecho de cenizas e induciéndola a una rápida mineralización así mismo, como producto del calentamiento del suelo el nitrógeno se volatiliza, perdiéndose hacia la atmósfera. El grado de volatilización va a depender de la intensidad del fuego.

Aunque la quema logre volatilizar la mayor parte del carbono, azufre y nitrógeno presentes en la vegetación, tienen poco efecto en la materia orgánica. Contrariamente a la creencia popular, el proceso de la quema no destruye la materia orgánica. Las temperaturas del suelo durante la quema no son lo suficiente altas por un periodo suficientemente largo para combustión excepto en los montones de escombros que continúan ardiendo. Estudios en Ghana (24) y en Perú (25), muestran que más bien hay un pequeño aumento en carbono del suelo y de nitrógeno total después de la quema. Estos aumentos se han atribuido a combustión incompleta de la vegetación y a las dimensiones de las partículas de carbono en forma de carbono orgánico. En casos donde se ha observado disminución marcada de materia orgánica, tales disminuciones probablemente estén asociadas con pérdidas por erosión de la capa arable.

En suelos con contenidos iniciales menores de materia orgánica la situación es diferente. En un Alfisol de Ghana encontraron que el contenido de carbono orgánico de la capa arable aumentó de 0.94 a 1.25% con la quema, seguido por una disminución a 0.94% después de dos años de desmonte. En otras palabras, no hubo agotamiento marcado del carbono orgánico en relación con los niveles anteriores al desmonte (24). En un estudio por 10 años en Alfisols de Costa de Marfil, no se observaron diferencias significativas en los contenidos de materia orgánica en tres áreas con prácticas adecuadas de control de la erosión y de fertilización. En este estudio el contenido de materia orgánica de la capa arable tenía un ámbito de 1.3 a 2.9% (27).

Estos estudios sugieren que la magnitud del agotamiento del carbono orgánico después de la quema es mayor en suelos con mayores contenidos de carbono orgánico.

El calor del fuego generado en una quema de vegetación puede causar el fraccionamiento y movimiento de compuestos orgánicos, especialmente en suelos arenosos.

Las altas temperaturas ($>125^{\circ}\text{C}$) principalmente liberan ciertas fracciones de la materia orgánica, con algunos de los compuestos hidrocarbonados que se mueven rápidamente a través de los poros del suelo a mayores profundidades o áreas frías.

Con temperaturas superiores a los 450°C para la combustión de la materia orgánica, el suelo puede llegar a perder el 40% de materia orgánica en los 5cm superficiales del suelo, lo que representa 35- 40T/ha promedio. (28)

Conforme estos compuestos alcanzan las partículas más frías y profundas en el suelo, se condensan (solidifican) en la superficie de las partículas del suelo y llenan algunos de los espacios porosos circundantes. Algunos de los compuestos condensados son hidrocarburos repelentes al agua (hidrofóbicos). Consecuentemente, cuando viene la lluvia, la infiltración del agua en suelos arenosos quemados se reduce grandemente en comparación a áreas no quemadas (29).

Los efectos de la quema sobre los sistemas de producción son muy variados. El primero es el calentamiento superficial del suelo, lo que acarrea la destrucción parcial del mantillo orgánico. Otro efecto es la alteración de diversas propiedades del suelo y de características de la población microbiana del mismo. La temperatura que se desarrolla en estas quemadas depende de factores tales como la cantidad de fitomasa, los tipos de restos vegetales, la posición de los restos (dispersión o amontonamiento), el grado de humedad, los factores climáticos (como la humedad del aire), la precipitación pluvial en el momento de la quema y los vientos que atizan el fuego (30).

C. Modificaciones en el Fósforo

Para (31) citado por (5) menciona que al quemar el suelo, se produce una menor porcentaje de amonificación y nitrificación, pero a la vez se genera el aumento de la disponibilidad de fósforo en el suelo; de igual forma el aumento del pH y de la cantidad de fósforo puede llegar a ser hasta 300% temporalmente.

El nivel de fósforo disponible en un suelo aumenta con la quema a consecuencia del fósforo que contiene la ceniza. La magnitud de estas adiciones es del orden de 7 a 25 kg/ha.

Estos cambios se reflejan en los valores de las pruebas de suelos. Después de quemar el fósforo extraíble por el procedimiento de Bray en la capa superior de 5 cm de un Inceptisol de Guatemala aumentó unas 4 veces y permaneció a este nivel por cerca de 6 meses. Al cabo de un año todavía era el doble del valor original (23). Debajo de esta capa no se observaron cambios en fósforo disponible. Otros investigadores obtuvieron resultados similares en Colombia (32), Venezuela (33) y en Perú (34).

En términos generales, la mayor parte de los efectos señalados anteriormente tienen corta duración. La regeneración de la vegetación, unida al reemplazo de la materia orgánica del suelo, la lluvia percolada y la modificación vegetal de las condiciones quemadas, comienzan rápidamente el proceso de recuperación. En caso de la quema de severa intensidad, seguido de la supresión excesiva de esta y la acumulación anormal de biomasa (combustible), o en el caso de la quema de capas orgánicas gruesas de turba que se reacumulan lentamente, las condiciones abióticas pueden ser alteradas por largos periodos de tiempo. Los fuegos frecuentes no naturales, comúnmente inducidos por el ser humano, pueden también conducir a cambios más prolongados (29).

D. Modificaciones en la conductividad eléctrica

Tras la exposición al fuego, la conductividad eléctrica del suelo tiende a incrementar notablemente por la adhesión de sales solubles procedentes de la combustión de materia orgánica. (35). Este aumento es debido a la reducción de ácidos orgánicos y al aporte de cenizas con carácter alcalino (36), que previamente estaban inmovilizados. A corto plazo, estos iones liberados deberían generar una mejora de la fertilidad en la mayoría de los casos, pero en otros tantos, pueden dar lugar a problemas, debido a que la absorción de algunos nutrientes pueden llegar a ser inhibida por la acumulación de minerales. (21)

La conductividad eléctrica puede disminuir en suelos expuestos a temperaturas cercanas a 500°C debido a la destrucción de los minerales de arcilla, la formación de óxidos y la formación de partículas gruesas (37).

Por lo tanto, el fuego altera los ciclos biológicos y la estabilización del estatus nutritivo solo tendrá lugar cuando se restablezca una vegetación densa, capaz de absorber los nutrientes disueltos en el suelo mineral, reduciendo así las pérdidas por lavado. La descomposición de los restos de esa vegetación incorporará nuevamente los nutrientes al ciclo global (22).

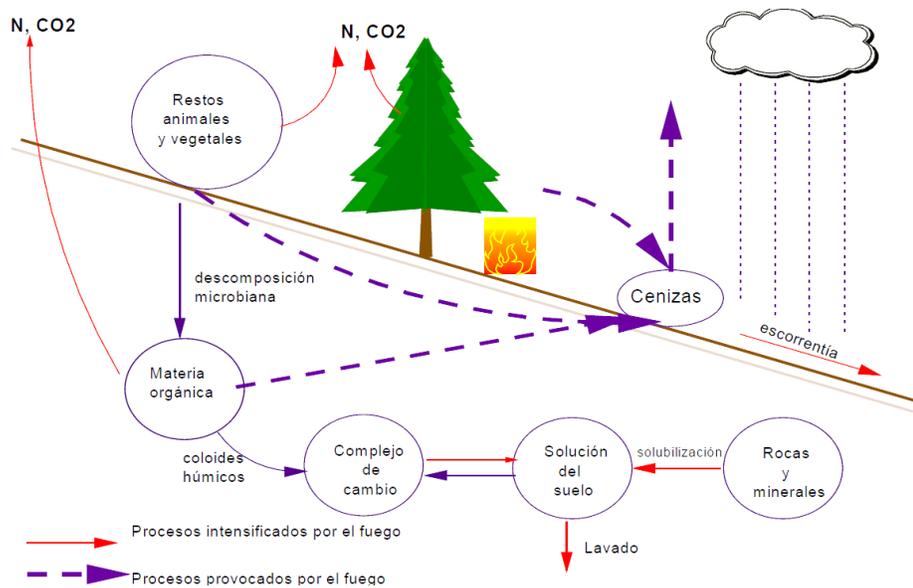


Figura 4. Efecto del fuego en el ciclo de los nutrientes.

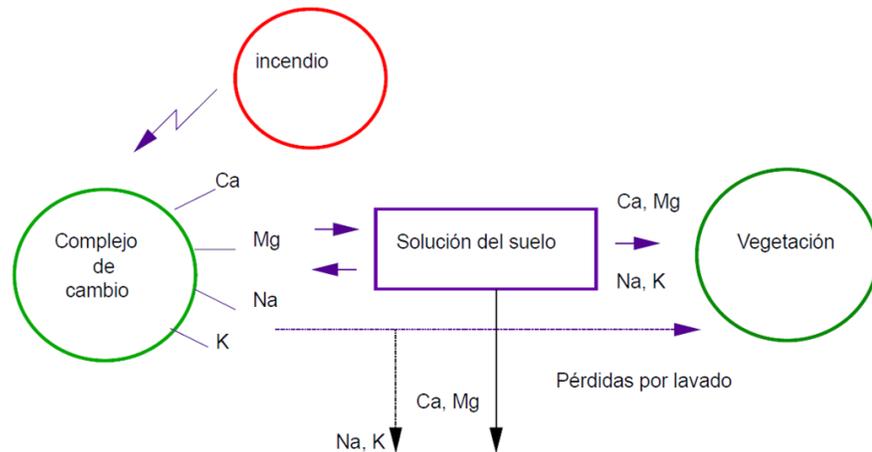
Fuente: MATAIX SOLERA, 2000.

E. Modificaciones en la capacidad de intercambio catiónico

Los cationes de cambio en la solución del suelo aumentan de manera muy rápida tras la quema, ya que existe una relación directa entre el contenido de materia orgánica y la disminución de la capacidad de intercambio catiónico (38).

Al destruirse parte de la materia orgánica, este incremento tiene los efectos de un abonado, aunque de forma transitoria ya que, a medio y largo plazo el suelo se va empobrecer porque las pérdidas por lavado van a ser muy grandes y porque disminuye la capacidad de intercambio catiónico, al destruirse parte de la materia orgánica del suelo. (28). Tras el paso del fuego los cationes disminuyen gradualmente con aumento de la temperatura, en el caso de los fuegos de baja intensidad; estos cationes son retenidos por el complejo absorbente, el cuál no ha sido destruido al no haber pérdida de materia orgánica (39). De esta manera, parte de los cationes liberados no llegan a ser retenidos en el complejo adsorbente, por lo tanto serán lixiviados fácilmente hacia horizontes profundos del perfil del suelo o transportados sobre el suelo desnudo por el agua después de las primeras lluvias, dando como resultado final el empobrecimiento del suelo (40).

Estos efectos pueden ser observados, inmediatamente después del incendio y, por lo general, persisten por un tiempo más o menos largo dependiendo del contenido de materia orgánica que existe en el suelo quemado y de la incorporación de nueva materia orgánica (35).



Flujo de nutrientes desde el complejo de cambio a la vegetación.
Las flechas discontinuas indica las alteraciones que produce el fuego en este equilibrio.

Figura 5. Alteraciones en el flujo de nutrientes desde el complejo de cambio por efecto del fuego.

Fuente: MATAIX SOLERA, 2000

2.2.1.3. Propiedades físicas del suelo

A. Modificaciones en la estructura del suelo

La estructura del suelo es el resultado de la agregación de sus partículas minerales a través de la materia orgánica. El fuego generalmente solo afecta a las capas superiores de los suelos, entre 0 y 2,5 cm (39).

En la parte superior del suelo mineral, horizonte A, la materia orgánica asume un papel preponderante en la estructura edáfico. Por otro lado, en el horizonte B la estructura del suelo depende sobre todo de la presencia y el tipo de arcillas.

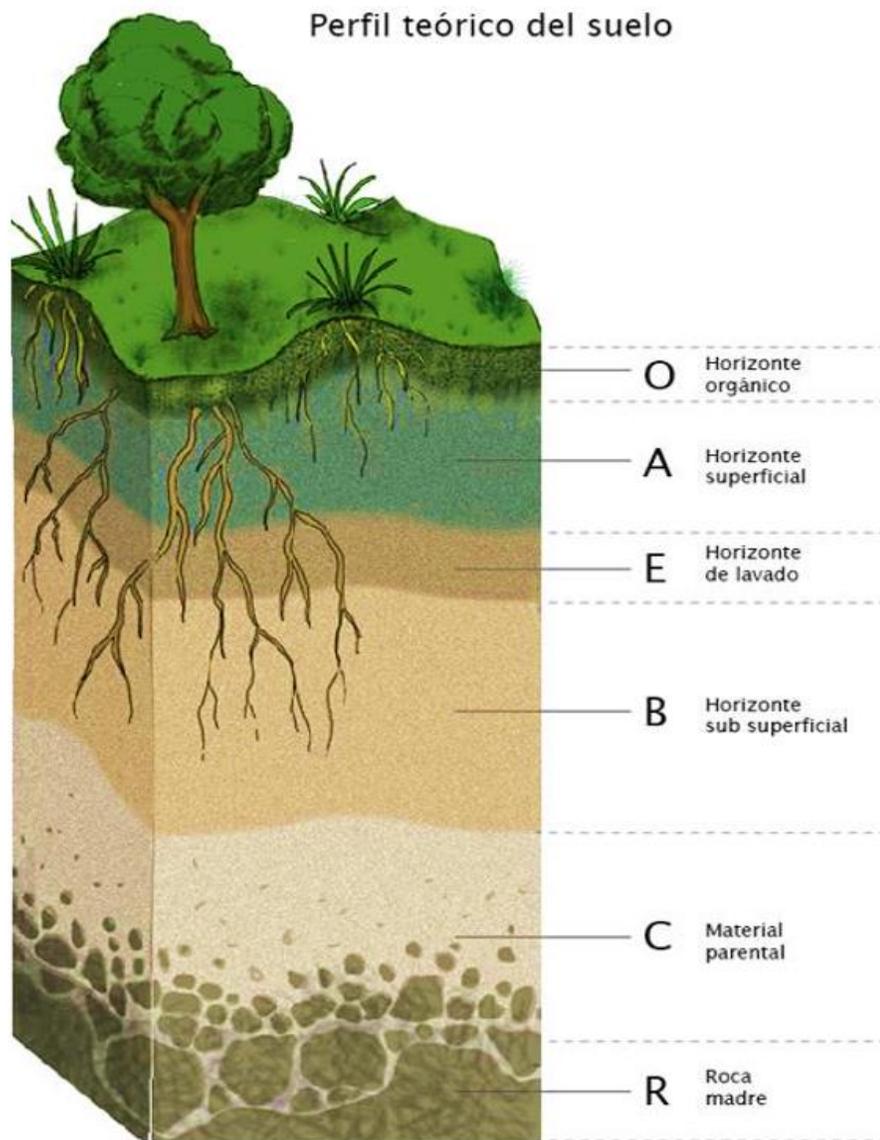


Figura 6. Tipos de horizontes principales que puede presentar el perfil de un suelo.

Fuente: LUJAN, y otros, 2016

La ruptura de la estructura del suelo, hace que disminuya su poder de absorción de agua, con el consiguiente aumento de escorrentía superficial y aparición de fenómenos erosivos. Por otra parte, ciertos elementos de la fracción orgánica aportada al suelo tras el fuego, al hidrolizarse, pueden formar una capa hidrofóbica a escasos centímetros de la superficie del suelo. Esta capa, más o menos impermeable, incrementa aún más la escorrentía y recrudece los procesos erosivos originados por la degradación de la estructura (28).

La degradación de la estructura del suelo aumenta la densidad aparente y reduce la porosidad del suelo, lo que a su vez provoca una disminución de la infiltración e incrementa la escorrentía y la erosión. (35). La duración de los efectos del fuego en la estructura del suelo varía entre un año y muchas décadas, esto depende de factores tales como la severidad del fuego, de la vegetación sobreviviente, del uso de la tierra y de las actividades de mitigación.

B. Modificaciones en la textura del suelo

La textura del suelo se basa en la proporción relativa de constituyentes inorgánicos de diferentes tamaños que se encuentran en la fracción mineral de 0,08 pulgadas (menos de 2 mm) del suelo mineral. Varias clases de textura del suelo se han especificado de acuerdo con las proporciones relativas de arena (0.05 a 2 mm en diámetro), limo (0.002 a 0.05 mm de diámetro) y arcilla (menos de 0.002 mm de diámetro) partículas en el suelo. Varias proporciones de arena, limo y arcilla fracciones se emplean como base para identificar doce clases de textura, por ejemplo, arena, marga arenosa, arcilla marga, limo limoso.

Clasificación de Suelos - Atterberg	
Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg (Sistema Internacional)
< 0,001	Arcilla
< 0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena Fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava Fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y Piedras
> 20,0	

Figura 7. Clasificación Granulométrica de suelos Atterberg.

Fuente: BLOG GEOLOGÍA PUBLICACIONES

Para (41) citado por (42). Los componentes de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) presentan altos umbrales de temperatura y por lo general el fuego no los afecta, a menos que se sometan a altas temperaturas en la superficie del suelo (horizonte A). En general, en los estudios llevados (9) fracción de la textura más sensible es la arcilla ya que son susceptibles de variar con el calor, la cual comienza a modificarse con temperaturas aproximadas de 400°C, llegando a una destrucción completa con temperaturas entre 700 y 800°C. Para lograr afectaciones en la arena o el limo se requerirían temperaturas superiores a los 1.414 °C, situaciones que raramente se presentan.

El efecto del calentamiento del suelo sobre la estabilidad de las arcillas es aún más mitigado por la concentración de arcillas durante el suelo desarrollo en los horizontes B. Estos horizontes son generalmente muy alejados de la calefacción en la superficie del suelo y raramente aumenta por encima de las temperaturas de la superficie ambiente a menos que se caliente por raíces ardientes (43), sobre la influencia que ejerce la temperatura en las estructuras de minerales laminares, observándose ciertas modificaciones en algunos minerales existentes en horizontes superficiales, como caolinita y vermiculitas

La textura del suelo tiene una influencia importante en la erosionabilidad del suelo ya que controla la capacidad de retención de agua y su infiltración, así como la formación y estabilidad de los agregados (95).

C. Modificaciones en la porosidad y densidad aparente

La densidad aparente es la masa de suelo seco por unidad de volumen total expresada en Mg/m³ y está vinculada con la porosidad. Este espacio poroso en los suelos, controla, las tasas de agua (solución del suelo) y el movimiento del aire a través del suelo.

El espacio creado por los poros controla el movimiento del agua y del aire en el suelo y debe haber un equilibrio entre macroporos que son mayores a 0,6 mm de diámetro y los microporos menores a 0,6 mm. Este equilibrio en el tamaño de los poros posibilita al terreno transferir tanto el agua y el aire rápidamente a través de los macroporos y retener el agua por capilaridad por medio de los microporos. La acción del fuego sobre el suelo puede llegar a destruir su estructura y afectar principalmente los macroporos, los cuales son primordiales para las vías de infiltración de agua y su posterior filtración a través del perfil del suelo, de ahí que se produzca más escorrentía superficial, generando ciertos procesos de erosión hídrica (41).

El fuego y sus altas temperaturas pueden llegar a destruir dicha propiedad del suelo, afectando a la proporción (entre microporos y macroporos) y a su porosidad total. En general,

el fuego reduce la cantidad de macroporos y aumenta la cantidad de microporos, lo cual acarrea consecuencias directas en la infiltración, generando más escorrentía superficial, originando ciertos procesos de erosión hídrica (44).

2.2.1.4. Efectos del fuego en la vegetación

La vegetación es muy importante en la reducción al riesgo erosivo e hidrológico a corto y medio plazo después de la acción del fuego. Las distintas estrategias que pueden mostrar las especies vegetales generan importantes diferencias en la regeneración inmediatamente después del fuego. Las especies rebrotadoras resultan más resilientes a fuegos repetidos y recuperan antes la cobertura. El conocimiento de la respuesta al fuego por parte de las distintas especies vegetales presentes en la zona afectada es crucial para valorar las necesidades de actuación en cada uno de los lugares afectados (45).

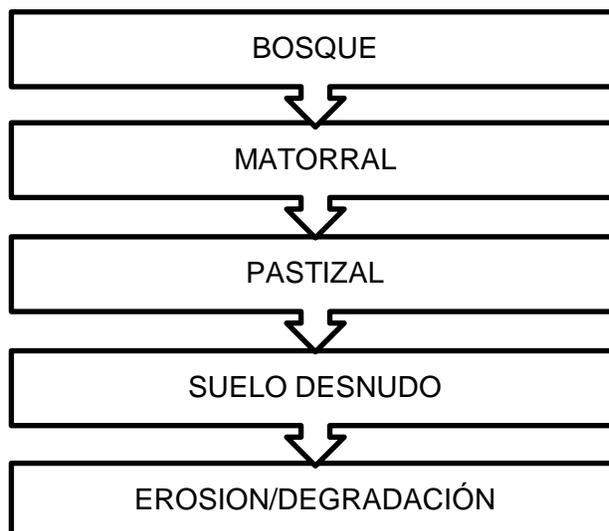


Figura 8. Esquema de las fases en la degradación de un bosque.

Fuente: MATAIX SOLERA, 2000

El fuego es uno de los factores de mayor alcance de las perturbaciones del ecosistema en la naturaleza. Además del efecto visible sobre la vegetación arbórea del suelo o quema de residuos de cultivo, los cambios breves, pero algunas veces dramáticos en temperatura del suelo también puede tener perdurables impactos debajo del suelo. A menos que el fuego sea artificial, la temperatura alcanzada con la quema de vegetación es usualmente muy breve y está limitada a unos pocos centímetros superiores del suelo. Pero las temperaturas resultantes

de “tala y quema” ejercida en los trópicos puede ser suficientemente alta en los primeros centímetros de suelo para causar la pérdida la materia orgánica de casi toda su totalidad (29).

Las temperaturas desarrolladas durante la quema de vegetación son variables y sobrepasan los límites biológicos que conducen a la esterilización parcial del suelo, reduciendo la actividad microbiana. Valores de 60° o superiores son críticos, pues producen la desnaturalización de las proteínas. Con temperaturas entre 80 y 100°C se acelera la oxidación de la materia orgánica, con la respectiva producción de CO₂ que pasa a la atmósfera. Con temperaturas mayores a 300°C, el N asociado con la materia orgánica se desprende en forma de óxidos y también se pierden ciertas cantidades de azufre. En casos extremos se producen temperaturas hasta de 800°C. Los otros elementos, además del N, C y S, especialmente el Ca, P, K, y Mg, se acumulan en las cenizas que se depositan en el suelo donde posteriormente reaccionan con el agua ante las formas iónicas; de esta manera, si bien aumenta su disponibilidad, al mismo tiempo se hacen más susceptibles al lavado. Todos estos procesos de oxidación conducen a cambios en el pH, comúnmente, aumentándolo (29).

2.2.1.5. Quema de pastizales

Para (46) citado por (47) los pastizales andinos peruanos cubren aproximadamente 143 000 km², o el 32% de las tierras altas incluidos 120 000 km² de pastoreo comunal, y el resto en manos de pequeños y medianos agricultores.

La mayor parte de quemas en el mundo son causados por el hombre y tiene lugar en países tropicales y subtropicales, se producen como una herramienta empleada en el tratamiento de tierras para: mantener tierras de pastoreo, modificar el uso de tierras, reducir malezas y vegetación (63).

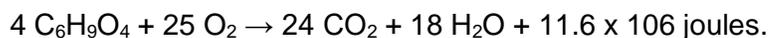


Figura 9. Quema de pastos en zona alto andina de Perú.

Fuente: SEMANARIO EXPRESION, 2015

En la quema de pastizales el material oxidable está compuesto por vegetal vivo y muerto de diferentes especies. Las hierbas, arbustos y pastos capturan los nutrientes del suelo después de las quemas y los rebrotes son más suculentos y apetitosos para los animales que el material herbáceo anterior.

Según (48) citado por (4), se puede asignar una fórmula química al combustible vegetal, que representa de manera aproximada la proporción de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno que podemos encontrar en diferentes pastizales. Esta fórmula es $C_6H_9O_4$, y representa un 49,65 % de carbono, 6,20 % hidrogeno y 44,13 % oxigeno. De esta manera, la ecuación general de la combustión de un vegetal combustible; cuando es oxidado completamente quedaría de la siguiente manera:



Por lo tanto, el calor de combustión promedio de un material vegetal es de aproximadamente 20 kJ g^{-1} (4800 cal g^{-1}).

2.2.1.6. Quema prescrita

Para (49) citado por (50) menciona que las quemas prescritas se apoyan en el principio de que los efectos del fuego, sobre el recurso forestal, son en ocasiones benéficas. Esto puede ocurrir en incendios forestales, aunque en forma fortuita, dependiendo de las condiciones atmosféricas y del lugar específico. Siendo más conveniente conseguir las ventajas del fuego en forma deliberada y controlada, lo cual es el propósito de las quemas prescritas. Este tipo de quema se usa ampliamente en muchos países para asegurar la continuidad del recurso mediante la rápida regeneración de la vegetación.

Existen diversas técnicas de quema que se pueden emplear para atender los objetivos propuestos bajo diferentes condiciones meteorológicas, de topografía y de material combustible. Los objetivos de la quema y los factores meteorológicos deben estar estrechamente relacionados con la técnica de quema idónea, con el fin de prevenir efectos adversos a los recursos forestales. Además, las condiciones atmosféricas deben ser favorables para disipar el humo en las capas superiores del aire y alejarlas de las áreas más sensibles, como carreteras, aeropuertos y áreas urbanas (64).

A. Tipos de quema

A-1. Las quemas de retroceso: Consiste básicamente en hacer el fuego progresivo en dirección contraria al viento o en el sentido descendiente a la inclinación de la pendiente. El fuego es iniciado a lo largo de una línea de base preparada, que puede ser una trocha, un camino u otra forma de barrera, y se deja que se propague contra la dirección del viento (en el sentido del declive). Esta técnica es la más fácil y segura de los tipos de quema controlada, además de que se pueden usar en caso de existir grandes cargas de materia combustible (51).

A-2. Las quemas de avance: Se propician en dirección a los vientos prevalecientes, de manera que el fuego llegue a desplazarse en la misma dirección que el viento. Este tipo de quemas, se mueven de manera más rápida, pero no siempre llegan a generar una combustión completa de la materia combustible.

Las quemas de avance, se inician en una serie de líneas llamadas fajas de quema. Esta técnica ofrece un mayor control, ya que ninguna línea individual de fuego llega a alcanzar un alto nivel de energía antes de llegar a otra línea de fuego. Es importante que al usar quemas de avance se asegure la línea base (línea de control de sotavento) con un fuego de retroceso y se permita que éste se extinga (52).

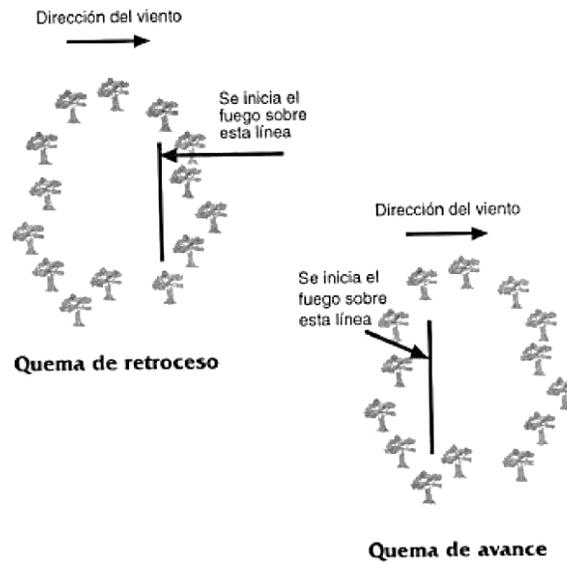


Figura 10. Diagrama de quema de avance y retroceso

Fuente: FREDERICKSEN, y otros, 1999

A-3. Las quemas laterales: Este tipo de quemas se inician de forma perpendicular al viento y se trasladan paralelamente a éste. Esta técnica se emplea, para asegurar los flancos de una faja de quema de avance o de retroceso, o para complementar las quemas de retroceso en áreas con escasa vegetación que sirva de combustible. Las quemas laterales, soportan muy poca variación de la dirección del viento y, por lo tanto, necesitan de un amplio conocimiento del comportamiento del viento (19). Este tipo de quema se puede emplear en cualquier condición meteorológica. Las principales desventajas de la quema en fajas a favor del viento es la necesidad de entrar al interior del área y el aumento de la intensidad en el encuentro de las líneas de fuego, tornándose mayor posibilidad de secado letal a las copas (52).

A-4. Las quemas circulares: Este tipo de quema a menudo se usa para la quema de claros pequeños o residuos apilados, con el fin de reducir o eliminar los restos leñosos para el cultivo y la siembra (53).

Se enciende el borde del área a quemar; en el fuego central se enciende al centro del área a quemar y posteriormente todo el borde, en ambos casos el efecto que se busca es que el fuego se dirija hacia el centro del área. Las condiciones climáticas no son muy importantes para las quemas circulares como lo son para otras técnicas de quema: éstas se

pueden usar con vientos leves o variables o, aún, sin viento (19). Debido a la fuerte columna de convección creada en la región central, el fuego no se propaga con mucha intensidad en dirección de los límites externos del área (51). Es aconsejable dejar abierta una pequeña porción de las quemas circulares, para permitir que la fauna pueda salir.

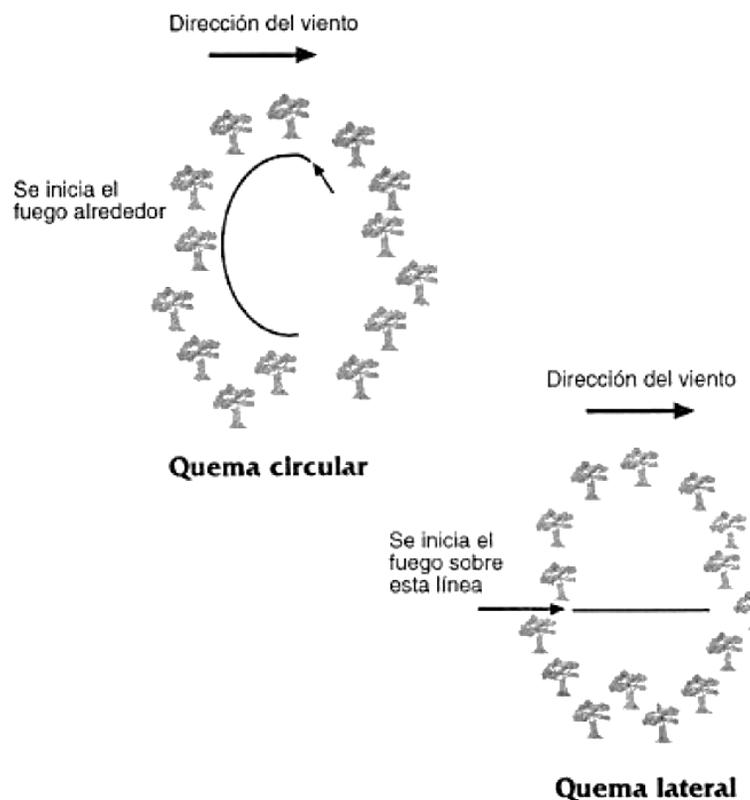


Figura 11. Diagrama de quema circular y lateral

Fuente: FREDERICKSEN, y otros, 1999.

2.2.1.7. Régimen del fuego

Se define el régimen de fuego como un conjunto de condiciones recurrentes vinculadas con el fuego que caracterizan un ecosistema. Estas condiciones están inscritas en un rango específico de frecuencia, comportamiento del fuego severidad, momento, tamaño y modelo de quema. Si se elimina o se aumenta el fuego o se altera uno o más de los componentes del régimen más allá del rango de variabilidad de un ecosistema dado, este ecosistema se transformará en algo diferente, por lo que, se perderán hábitats y especies. Incluso los ecosistemas mantenidos por el fuego, es decir aquéllos que dependen del fuego, pueden quemarse inadecuadamente (54).

De los componentes del régimen de fuego, la intensidad y severidad son los componentes que pueden llegar a tener una mayor influencia en el impacto y efectos producidos en un ecosistema, ya que influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (55).

COMPONENTES DEL REGIMEN DEL FUEGO

CONDICIONES DEL FUEGO	CUANDO, DONDE Y QUE	EFFECTOS INMEDIATOS
<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa o combustible • Cantidad, tasas de acumulacion y compactacion. • Distribucion y conectividad • Contenido de agua de la vegetacion. • Clima <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Humedad Ambiental • Velocidad y direccion del viento • Precipitacion • Topografia <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente y orientacion • Humedad del Suelo • Actividades Humanas <ul style="list-style-type: none"> • Politica y legislacion • Accidentes y negligencias • Economia 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de incendio <ul style="list-style-type: none"> • Productividad de biomasa • Estacion del año • Extension <ul style="list-style-type: none"> • Heterogeneidad del paisaje • Heterogeneidad de la vegetacion • Influencia de los patrones espaciales de incendios anteriores • Características del fuego <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de vegetacion • Cubierta vegetal • Comportamiento del fuego • Intensidad del fuego 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientales <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de fuego • Intensidad y severidad • Erosion • Sociales <ul style="list-style-type: none"> • Costes • Daños • Vidas humanas

Figura 12. Componentes del régimen del fuego

Fuente: FREDERICKSEN, y otros, 1999

Para (56) citado por (57) el régimen de fuego implica que la gran parte de los cambios producidos por el fuego en los ecosistemas, y la respuesta de éstos ante dicha perturbación, están regulados por las variaciones en los componentes del régimen del fuego; la frecuencia con que se generan, su extensión, la estación del año, y la intensidad del fuego. Otro componente es el tipo de fuego, donde se diferencian:

- **Fuegos de suelo:** Donde arden los horizontes orgánicos y el fuego penetra en el suelo vía raíces de la vegetación.
- **Fuegos de superficie:** Donde se produce la quema del mantillo y de la biomasa superficial situada en contacto con el suelo.
- **Fuegos de copas:** Donde los incendios propagan a través de las copas de los árboles.

2.2.2. Fundamentos metodológicos y técnicos

2.2.2.1. Técnica de muestreo in situ

La técnica del muestreo a aplicar depende, de factores como el objetivo del estudio, las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras. Ver ANEXO 4.

Existen múltiples sistemas de toma de muestras, estos dependen básicamente del tipo de estudio al que se van a someter las muestras.

Tabla 3. Lista de sistemas para la toma de muestras sólidas

SISTEMA	APLICACIÓN AL DISEÑO DE MUESTREO	VENTAJAS DESVENTAJAS
CALICATAS	Suelo de superficie suave, con profundidad de 0-100 cm.	Barato; fácil para usar, capacidad de profundidad limitada.
SONDEOS MANUALES	Suelo duro, con profundidad de 0-100 cm.	Relativamente fácil de usar; capacidad de profundidad limitada; costos bajos.
ZANJAS	Todo tipo de suelo, hasta 4m	Fácil de usar, capacidad de profundidad limitada. Requiere del uso de retroexcavadora.
SONDEOS LINER	Suelo arenoso, hasta 20m.	Buen rango de profundidad; calificado para el muestreo de suelos con contaminantes volátiles; costos más elevados.
SONDEOS SEMI MECÁNICOS	Suelo rocoso o arenoso, hasta 10m.	Buen rango de profundidad; puede requerir de dos a más operadores; costos medios.
MECÁNICOS	Todo tipo de suelo, grandes profundidades.	Buen rango de profundidad, generalmente empleado para ganar acceso a horizontes de suelo más profundos; requiere de mano de obra experimentada, costo más elevado.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2014

Se recomienda la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana cuando se tiene un contacto directo o para la flora y fauna. En estos casos se recomienda un muestreo bidimensional, es decir, la toma de sub-muestras 10 a 25 unidades en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.

Existen patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos establecidos el MINAM, (Ver ANEXO N° 4), en la Guía Para Muestreo De Suelos, en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Ver ANEXO N°3. Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados (11).

2.2.2.2. Métodos de análisis físico-químico del suelo

A. Textura

El método se basa en la Ley de Stokes, donde una partícula esférica sólida cae en el seno de un medio líquido de densidad menor con velocidad uniforme ya que las fuerzas que intervienen como la (gravedad y resistencia) se igualan, esta velocidad está en función al tamaño de la partícula. (58)

El método de Bouyoucos utiliza un hidrómetro para determinar las diferentes fracciones de tamaño en el suelo. En el mismo el suelo es dispersado en medio acuoso por medio de un agente dispersante como el hexametáfosfato de sodio durante 12 horas, agitando periódicamente para separar las diferentes partículas. La suspensión es transferida a un cilindro de 2 litros y se completa el volumen a un litro con agua destilada. Se agita nuevamente y se coloca cuidadosamente el hidrómetro cuyas lecturas darán los gramos por litro de las fracciones de limo y arcilla y de arcilla sola en dos lecturas. La arena se sedimenta a los 40 segundos y la lectura del hidrómetro LH, tomada a ese tiempo determina la cantidad en gramos de limo y arcilla que permanecen en la suspensión. La resta de esta lectura del peso de la muestra da los gramos de arena.

$$\%arena = \frac{g_{muestra} - LH_{40s}}{g_{muestra}} \times 100$$

Después de 8 horas la mayoría del limo se ha sedimentado y la lectura del hidrómetro determina la cantidad en gramos por el litro de arcilla. El limo es calculado por diferencia del 100 % (59).

$$\%arcilla = \frac{g_{muestra} - LH_{8h}}{g_{muestra}} \times 100$$

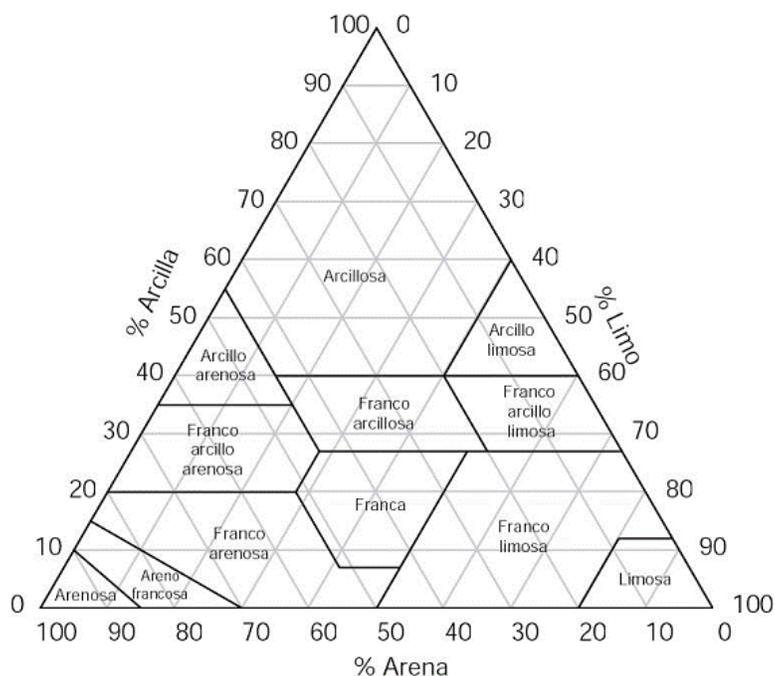


Figura 13. Triángulo para determinar la textura del suelo a partir del análisis mecánico. La composición de las clases de textura son definidos por el USDA.

Fuente: Extraído de McKEAN, 1993

B. Conductividad eléctrica

Se usa comúnmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las distintas soluciones y es proporcional al contenido de sales disueltas. Está íntimamente relacionada con la suma de cationes o aniones que se determinan químicamente y en general tiene correlación estrecha con los sólidos totales disueltos. (58). Es una medida de la capacidad de las soluciones para conducir la corriente eléctrica; esta corriente es transportada por iones cargados que provienen de la disociación de las sales en el suelo, mientras mayor es el contenido de sales mayor será su conductividad (59).

La unidad clásica de medida es el *mhos/cm*. Esta unidad es demasiado grande por lo que el Sistema Internacional de Unidades ha propuesto el empleo de Siemens (S)

$$1dS/m = 1mS/cm = 1mmhos/cm$$

El principio de esta determinación consiste en medir mayor o menor facilidad que presenta una solución para conducir la corriente eléctrica, facilidad que está en relación directa con mayor o menor cantidad de sales disueltas que contenga (58).

Tabla 4. Interpretaciones de los datos de conductividad.

Conductividad Eléctrica (mmhos/cm) a 25°C	Respuesta de los cultivos
0-2	Efectos despreciables de la salinidad
2-4	Los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos
4-8	Rendimientos de muchos cultivos son restringidos
8-16	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 16	Poquísimos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente

Fuente: MILLAN, y otros, 2015

C. pH

La determinación de pH está basada en la medida de la actividad de hidrógeno ionizado (H^+) en la solución del suelo. El pH es definido como el logaritmo negativo, en base 10, de la actividad del H^+ o el logaritmo del recíproco de la actividad del H^+ :

$$pH = -\log_{10}[H^+] = \log_{10} \frac{1}{[H^+]}$$

Puesto que el pH es logarítmico, es importante tener en mente que la concentración del H^+ aumenta diez veces cuando el pH disminuye en una unidad. (60)

Se puede medir el pH del suelo colorimétricamente utilizando soluciones Indicadores, como, el azul de bromothymol o utilizando Indicadores de papel como el papel de Litmus. La manera más eficaz para medirlo es por potenciómetro, El potenciómetro o pH metro utiliza un electrodo de vidrio que es sensible a H^+ , con un electrodo de referencia que es normalmente Calomel. Debido a que el pH es sensible a la temperatura; muchas veces el potenciómetro viene con compensación interna a la temperatura. Con soluciones amortiguadas de pH conocido, el pH metro puede ser estandarizado. Se presenta el suelo al pH metro en forma de suspensión. la más común es de 1: 1 (suelo: solución) (61).

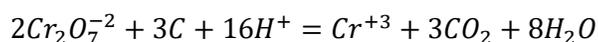
D. **Materia Orgánica**

Se pudo establecer, desde hace mucho tiempo, que la relación C: N de los horizontes de superficie, da un reflejo bastante fiel y confiable de la actividad biológica y de los equilibrios de los elementos sometidos a los procesos antagónicos de mineralización e inmovilización. En suelos cultivados, los residuos de cosecha reciclados in situ presentan relaciones C: N aproximadamente de 15 a 60 que corresponden a la presencia de compuestos vegetales de degradación lenta. En realidad, el "carbono total" del suelo incluye tres fases principales:

- El carbono orgánico (residuos orgánicos poco alterados de origen vegetal y animal, materias orgánicas fósiles, microorganismos)
- El carbono inorgánico presente en forma de carbonatos y bicarbonatos.
- El carbón inorgánico que proviene de la combustión incompleta de material vegetal, suelos de sabana sometidos a incendios periódicos.

$$C_{total} = C_{tmineral} + C_{organico} + C_s$$

El método de dosificación del carbono orgánico total por el dicromato de potasio en medio abierto muy ácido, fue propuesto al origen por Schollenberger en 1927, luego por Walkley y Black en 1934 de donde toma su denominación el método que está basado en una oxidación húmeda, para determinar el contenido de Carbono Orgánico en el suelo. Se oxida la muestra en una solución de dicromato de potasio, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado: (59)



La oxidación no es completa; Walkley y Black estimaron que un promedio de 76% se oxida y sugirieron un factor de conversión de 1.32 para calcular el contenido de Ca en el suelo. Mebius en 1960 modificó el método Introduciendo una fuente de calor extrema y de ese modo producir una oxidación completa. Para que el método quede sencillo se recomienda reportar los resultados como Ca oxidable. De esa manera no tiene que usarse el factor de conversión al Ca total. (61)

E. **Fosforo Disponible**

Existen muchos métodos para medir el fósforo (P) en el suelo. Cada uno puede variar en el principio y en el procedimiento, para su selección dependerá en cuanto a los objetivos del estudio, la muestra y sus propiedades, la precisión necesaria y las facilidades del laboratorio. El fosforo se encuentra en el suelo en forma orgánica e Inorgánica. Se asocia con

la materia orgánica, las arcillas y los compuestos de Al, Fe y Ca, para que pueda ser aprovechable en la vegetación el fósforo tiene que estar en la solución del suelo (58).

El método de determinación de potasio desarrollado por Olsen usa una solución de bicarbonato de sodio a un pH de 8.50. En los suelos calcáreos o alcalinos los iones de bicarbonato causan la precipitación del calcio como CaCO_3 y por lo tanto la actividad de calcio en la solución disminuye. Esto facilita la extracción de los fosfatos de calcio más solubles. En los suelos más ácidos los iones de bicarbonato, reemplazan a los fosfatos de aluminio y hierro, El Incremento del pH de la solución facilita la extracción de fosfato de las superficies que tienen una carga dependiente del pH (61).

Por lo tanto, este fósforo “disponible” podría tener un componente “no disponible”, mientras que el extracto de agua a pH aproximadamente neutro se podría asemejar más a la solución del suelo. Los otros extractos con soluciones ácidas, pueden incluir fosfatos minerales insolubles que en condiciones normales no están disponibles para las plantas (59).

F. Potasio disponible

Las entradas de potasio al suelo son a través de la fertilización o del reciclaje de los restos de cultivos. Estos últimos se mineralizan y se incorporan al suelo bajo alguna de las formas en que el potasio se presenta en el mismo (solución, intercambiable y no intercambiable). El potasio intercambiable es una fracción de reserva de respuesta rápida, es adsorbido en las arcillas ya que él compensa las cargas negativas que resultan de las sustituciones en la estructura de éstas o de las fracturas del cristal, y se encuentra en equilibrio con el K en solución (62).

El método más usado para determinar el potasio disponible en el suelo, es la extracción con acetato de amonio 1N pH =7. Si bien se considera que el potasio intercambiable con solución de acetato de amonio 1N pH= 7 por percolación es el método más adecuado (63). Para esto se toma 1 g de suelo seco y tamizado y se le adicionan 10 mL de acetato de amonio, se agita por 5 minutos a 180 rpm y se filtra, al final se cuantifica en un fotómetro de flama (64).

G. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico es una propiedad que llega a variar con las condiciones en que se mida. La capacidad de intercambio catiónico, es una medida cuantitativa y característica de cada tipo de suelo, esta representa la medición de los cationes adsorbidos sobre las superficies de las arcillas. (59). Entre más alta sea la capacidad de intercambio catiónico más capacidad tiene el suelo para retener e intercambiar cationes, evitando la lixiviación de nutrimentos y permitiendo a la vegetación, tener una adecuada

nutrición. La capacidad de intercambio de cationes varía de suelo a suelo y dependerá de la estructura del complejo arcilla/humus, del tipo de micelas que son; estructuras como laminas presentes, y de la cantidad de materia orgánica incorporada en el suelo (18).

Generalmente, la capacidad de intercambio catiónica se estima de la cantidad de cationes adsorbidos por el suelo de una solución amortiguada como el acetato de amonio a pH 7. En ciertos suelos salinos y alcalinos, se presenta fijación de cantidades apreciables de amonio bajo condiciones de humedad, en el proceso de determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico mediante el acetato de amonio (65).

En suelos alcalinos esto refleja en forma adecuada la capacidad de intercambio catiónica. En suelos ácidos ($pH < 5.5$) con carga variable, un incremento del pH aumenta la capacidad de intercambio catiónica. En suelos calcáreos o salinos, la disolución de carbonato de calcio presente en el suelo, puede causar una subestimación de la capacidad de intercambio catiónica (61).

La capacidad de intercambio catiónica con acetato de amonio, se obtiene sumando los cationes de cambio, $Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+} = S$ y el H^{+} de cambio. El grado de saturación (SB) se calculó mediante la siguiente expresión: (66)

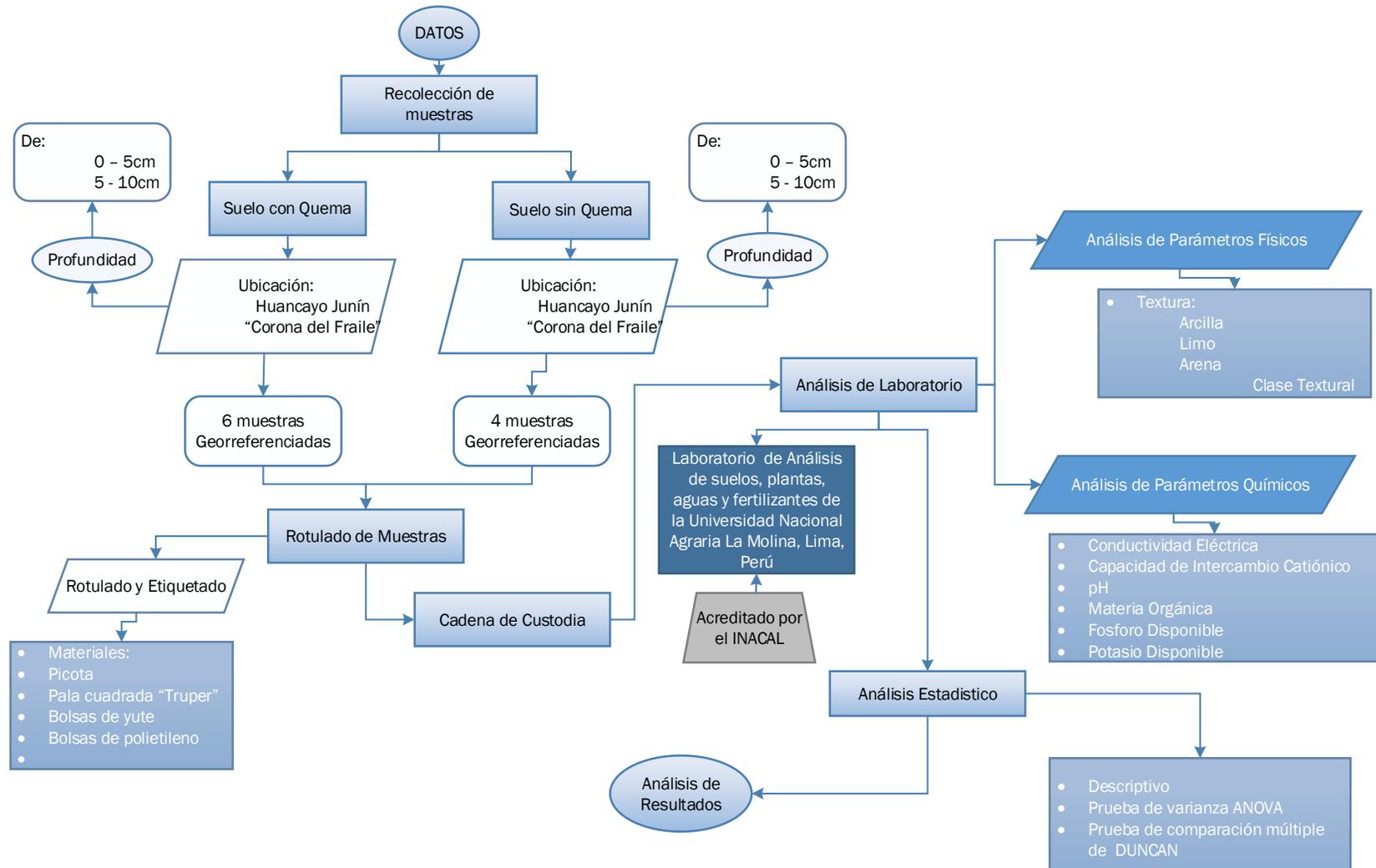
$$SB = 100 \times S / CIC$$

$$S = Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+} + H^{+}$$

SB = grado de saturación

C.I.C. = Capacidad de Intercambio Catiónico

2.2.3. Modelo teórico de la investigación



2.3. Definición de términos

Alfisols: Suelos minerales que tienen epipedon ochric, que tienen agua disponible para la plantación durante al menos 90 días cuando el suelo está lo suficientemente caliente como para que las plantas crezcan. Los alfisols tienen una temperatura media anual del suelo inferior a 8 °C o una saturación de base en la parte inferior del horizonte argílico del 35 % o más cuando se mide a pH 8.2 (36).

Arcilla: Un suelo separado que consiste en partículas <0.002 milímetros en diámetro equivalente. Una clase de textura (36).

Arena: Una partícula de suelo entre 0.05 y 2.0 milímetros de diámetro. Una clase de textura del suelo (36).

Capacidad de intercambio de cationes (CIC): Número total de cationes intercambiables que un suelo puede adsorber. Una medida de la habilidad del suelo para retener nutrientes que son cationes en el suelo. Expresado como miliequivalentes por 100 gramos de suelos o centimol de carga por kilogramo de suelo (67).

Contenido y concentración de nutrientes: La concentración de nutrientes es usualmente expresada en gramos por kilogramo (g/kg) o miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso fresco o seco, el contenido es usualmente expresado como peso por unidad de área (kg/ha) (68).

Densidad aparente: La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan (61).

Escorrentía subterránea (filtración): Agua que se filtra hacia canales de corriente después de la infiltración en el suelo (67).

Hidrolisis: Reemplazo de cationes en la estructura de un mineral silicato con iones de hidrogeno, provocando la descomposición del mineral. (18).

Horizontes Estratos distinguibles visualmente en el perfil del suelo. (18).

Humus: Fracción de la materia orgánica del suelo resultante de la descomposición o mineralización del material orgánico. (18).

Intensidad del fuego: Describe el proceso de combustión física y la energía liberado por la materia orgánica durante el proceso de quema, y se define como una medida del flujo de energía liberada promediado en el tiempo. (69)

Lábil: Una sustancia que es fácilmente transformada por los microorganismos del suelo o está fácilmente disponible para la absorción de las plantas (68).

Limo: Un suelo separado que consiste en partículas entre 0.05 y 0.002 milímetros en diámetro equivalente. Una clase de textura del suelo (36).

Materia orgánica del suelo: La fracción orgánica del suelo que incluye residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, células y tejidos de

organismos, y sustancias sintetizadas por la población del suelo. Comúnmente determinada como la cantidad de material orgánico contenida en una muestra de suelo pasada a través de una malla de 2 mm (67).

Mineralización El proceso por el cual los residuos orgánicos son desdoblados liberados como nutrimentos minerales que pueden ser utilizados por las plantas. (18)

Nutriente disponible: Un elemento esencial, o nutriente, en el suelo en una forma que la planta puede absorberlo al interior de las raíces (67).

Oxisol. Suelos minerales que tienen un horizonte óxico dentro de los 2 metros de la superficie como una fase continua dentro de los 30 centímetros de la superficie, y que no tienen un horizonte espódico sobre el horizonte óxico (36).

Percolación: Movimiento del agua a través del suelo por la fuerza de gravedad (18).

pH: La reacción de un horizonte de un suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad de dicho horizonte, generalmente se expresa por medio del pH (67).

Quema controlada: La quema controlada es la que se realiza según un plan técnico estimando el comportamiento del fuego (intensidad y velocidad de propagación) de acuerdo con los objetivos marcados. El fuego prescrito es el que se condiciona según comestibles, meteorología y topografía (prescripción), para conseguir una gestión sostenible en la quema de vegetación con compatibilidad ecológica. Como quiera que las condiciones prescritas también definen el comportamiento del fuego podrán integrarse la quema controlada y el fuego prescrito en una única denominación: quema prescrita, con la definición siguiente: quema prescrita es la que se realiza según un plan técnico bajo prescripción, condicionada por los combustibles, meteorología y topografía, para estimar un comportamiento del fuego acorde con una gestión sostenible, que marque unos objetivos con compatibilidad ecológica (53).

Quema intencional: Tipo de incendio provocado y controlado por el ser humano para lograr algún objetivo de manejo, como por ejemplo la mejora de una pastura en un sistema de pastoreo (18).

Saturación de bases: La suma de las bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) expresada como porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico, se conoce como el porcentaje de saturación de bases; el tanto por ciento de acidez cambiante (aluminio e hidrógeno) correspondería al complemento del anterior hasta el 100%. En suelos de coloides similares existe una correlación entre pH y porcentaje de saturación de las bases. Esta correlación directa no existe cuando se consideran suelos con una mineralogía de arcilla diferente (18).

Severidad del fuego: describe la magnitud del cambio, por lo tanto, refleja el grado de variación en los componentes del ecosistema. Es dependiente de la naturaleza de la vegetación entendida como combustible y de la combustibilidad de ésta. Puede ser

usada para describir los efectos del fuego en el suelo, en el sistema hidrológico, en la flora y fauna, en la atmósfera y en la sociedad (70).

Solución suelo: La fase líquida del suelo y sus solutos, consistente de iones disociados de la superficie de las partículas del suelo y de otros materiales solubles (67).

Suelo: El suelo que definido como: (i) material mineral u orgánico no consolidado sobre la superficie inmediata de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de plantas terrestres, (ii) El mineral no consolidado o materia orgánica sobre la superficie de la tierra que ha estado sujeto a los efectos de factores ambientales y genéticos de: clima (incluyendo efectos del agua y la temperatura), y macro y microorganismos, condicionados por el relieve, actuando sobre el material parental sobre un periodo de tiempo. Un suelo difiere de los materiales del cual se deriva en muchas propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas (68).

Textura del suelo: La textura es una propiedad física que se determina en laboratorio y cuantifica la distribución del tamaño de partículas. Lo más importante de este dato es su uso en la descripción e identificación, documentación y mapeo de suelos. La textura se ha usado para pronosticar algunas propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico y algunas propiedades físicas como la retención de agua, la consistencia y la infiltración (32).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

A) Método general o teórico de la investigación

El método general utilizado fue el hipotético – deductivo, puesto que se estudia las variables que componen el problema general, mediante el análisis de los datos extraídos y el procesamiento estadístico que permitió estudiar mejor los resultados de la investigación (71).

B) Método específico de la investigación

A partir de la observación de la constante quema de pastizales en la zona de “Corona del Fraile” y con la ayuda de un GPS se realizó un recorrido por toda el área con quema, con estas coordenadas se delimito el área mediante geolocalización con lo que se generó tres mapas: de subcuencas y arroyos, de localización y un mapa de pendientes. Ver: ANEXO N° 5

Identificada el área donde hubo quemado de pastos naturales, en la zona “Corona del Fraile”, se realizó un muestreo al azar a la profundidad de 0 a 5 cm, de la zona de ladera baja, media y alta, ubicando 15 puntos en cada zona para obtener las muestras simples, utilizando un pico, lampa y bolsas de yute; una vez obtenida las muestras simples se mezclaron homogéneamente y se hizo una forma de pirámide para realizar un cuarteo del volumen de suelo muestreado y se cogió 250 gramos aproximadamente de cada cuarto para lograr 1 kg aproximadamente de muestra

compuesta. Esto se repitió dos veces más y se obtuvo tres muestras compuestas de suelos donde hubo quema de vegetación. El mismo protocolo se utilizó para el muestreo del suelo a la profundidad de 5 a 10 cm de profundidad.

En el área adyacente, se delimitó el área de suelo donde no se experimentó quemado y se obtuvo 15 muestras de simples de la ladera alta y 15 muestra de la ladera media; para tal efecto se utilizó el pico, la una pala cuadrada “Truper” y bolsas de yute. Posteriormente se mezcló lo más homogéneamente cada grupo de muestras simples para obtener una muestra compuesta de cada zona, a una profundidad de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm.

Cada una de las muestras compuestas, que totalizaron 10 (3 muestras del suelo que experimentó quema de vegetación de pastos y profundidad de 0 a 5 cm y 3 muestras de 5 a 10 cm), fueron colocadas en bolsas de polietileno y etiquetadas, indicando el nombre del tesista, el lugar de procedencia de la fecha de muestreo.

Los puntos de muestreo fueron georreferenciados:

Tabla 5. Datos de georreferenciación del muestreo de suelos.

Coordenadas Geográficas- WGS 84		Altitud (msnm)	Zona	Condición
Este	Norte			
480193	8667871	3 509	Huancayo	Quemado-1
480022	8667818	3 427	Huancayo	Quemado-2
480080	8667833	3 449	Huancayo	Quemado-3
480123	8667913	3 524	Huancayo	No quemado-1
479944	8667933	3 466	Huancayo	No quemado-2

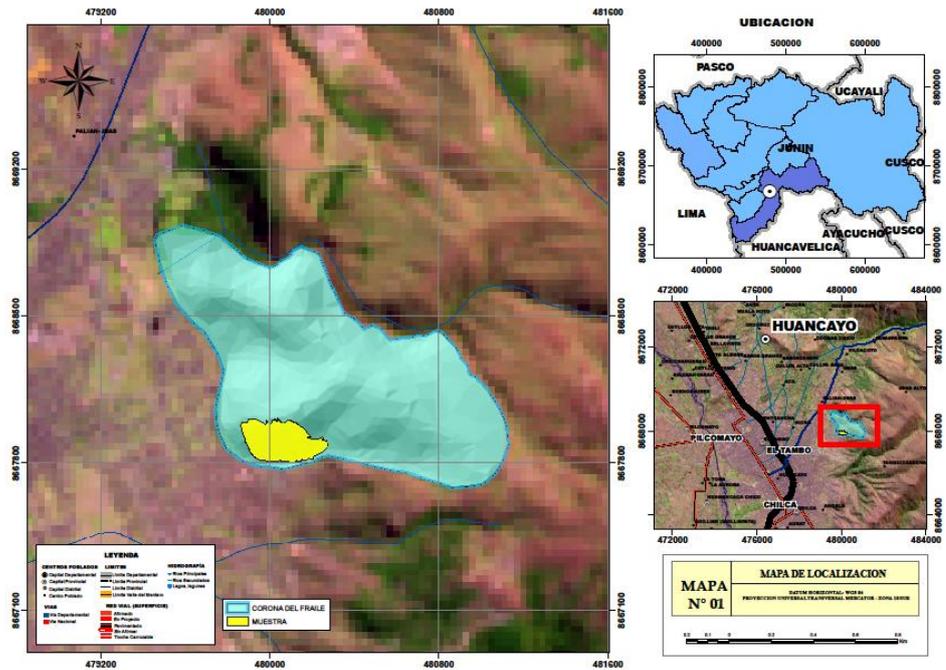
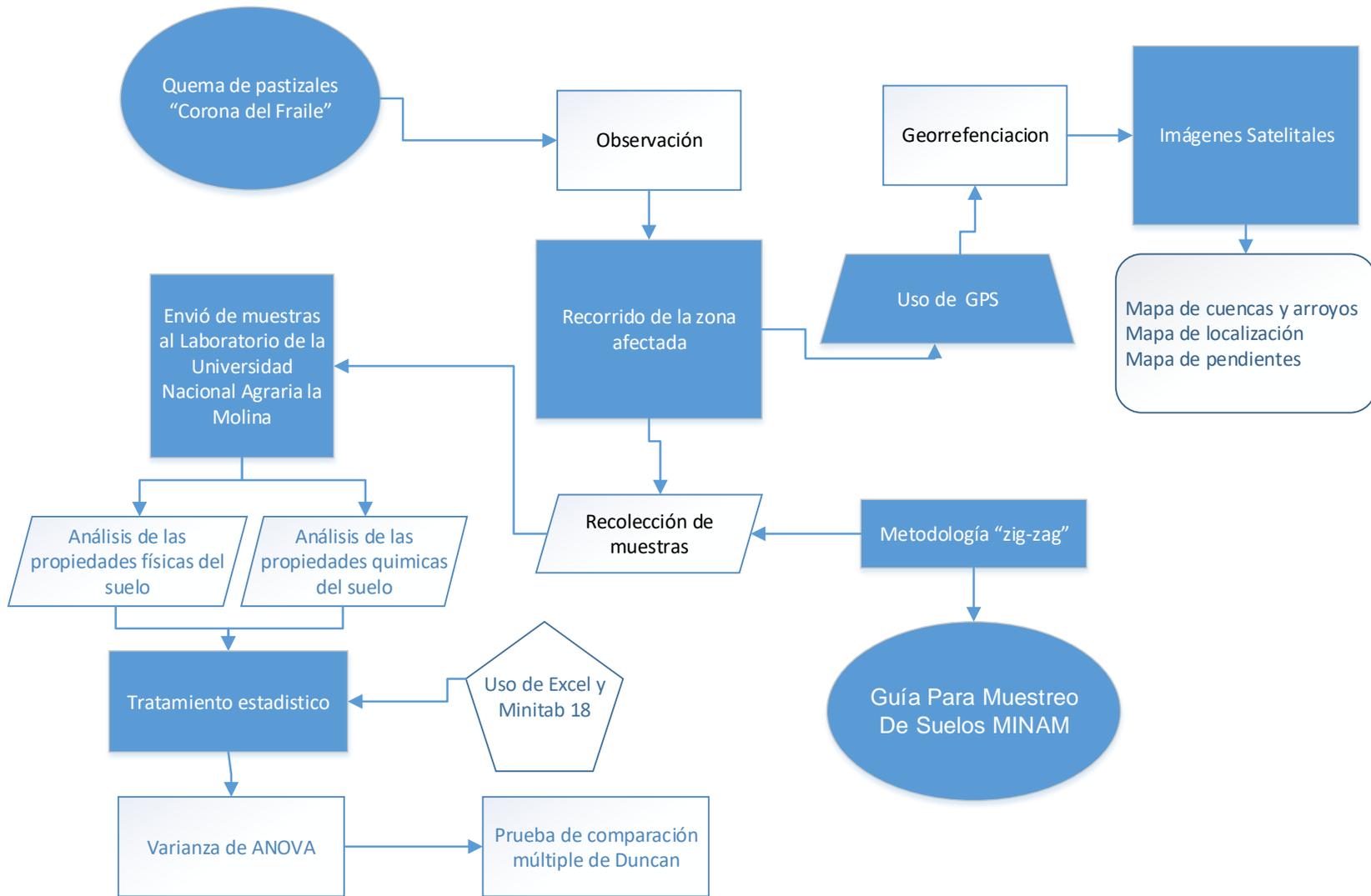


Figura 14. Ubicación geográfica del estudio

El peso de cada muestra de suelo fue de aproximadamente 1 kg de suelo, que fue colocado en una bolsa de polietileno, con los datos de: fecha, lugar de muestreo, nombre del tesista y clave de muestra, y fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis.

Se utilizó el método de análisis: las muestras de suelo fueron analizadas en sus propiedades físico-químicas: densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, contenido de nutrientes y materia orgánica. Las técnicas utilizadas son estándar para cada tipo de determinación.

Con los resultados de las muestras enviados por la Universidad Nacional Agraria La Molina (ANEXO N° 2) se realizó el tratamiento estadístico inferencial mediante la prueba de varianza ANOVA. Posteriormente se aplicó la prueba de significación de Duncan para comparar los tratamientos entre medias. Para el tratamiento de datos se aplicó el software INFOSTAT.



3.1.2. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada, pues utiliza los principios de la ciencia del suelo, para aplicarlos a las propiedades de suelos, indicados mediante análisis, en dos condiciones: con y sin quema de vegetación. Esta investigación es de tipo cuantitativo, pues se centra en aspectos observables y susceptibles de cuantificación, como son las propiedades del suelo.

3.1.3 Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo, pues en base a los fundamentos teóricos de la quema de vegetación sobre el suelo, trata de explicar la alteración de las propiedades del suelo.

3.2. Diseño de investigación

El diseño es experimental porque se va a observar la conducta de una variable independiente (suelo con quema de vegetación) con control total sobre las demás variables dependientes (propiedades del suelo).

3.2.1. Tipo de diseño de investigación

La presente investigación hizo uso del diseño experimental puro con dos grupos de comparación, un suelo con quema de vegetación y otro sin quema de vegetación (control), con pos prueba.

El diagrama del diseño de investigación es el siguiente:

RG1	X	01
RG2	-	02

En este diseño se incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental (quema) y el otro no (sin quema); la manipulación de la variable independiente alcanza solo dos niveles presencia y ausencia. Los sujetos se asignan a los grupos de manera aleatoria. Cuando concluye la manipulación (quema), a ambos grupos se les administra una medición sobre la variable independiente en estudio, que son las propiedades físicas y químicas del suelo (72).

Las determinaciones físico-químicas de las muestras de suelo, para cada uno de las muestras de suelo en zonas de quema y no quema, de la zona de “Corona del Fraile”, del distrito de Huancayo, corresponde al siguiente modelo:

$$\gamma_i = X_i + \varepsilon_i$$

Donde:

- X_i = quema de vegetación en el suelo
 γ_i = propiedades físico-químicas del suelo.
 ε_i = error de observación

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por los suelos ubicados en la zona de “Corona del Fraile”, distrito y provincia de Huancayo, que han experimentado quema de la vegetación y suelos que no han experimentado quema de vegetación de pastos naturales existentes en el lugar.

3.3.2. Muestra

El muestreo fue al azar estratificado, los estratos estuvieron constituidos por los suelos con quema de vegetación y los suelos sin quema de vegetación; de cada estrato se extrajeron muestras al azar, tres muestras para los suelos con quema de vegetación y dos muestras para los suelos sin quema de vegetación.

3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

La presente investigación empleó técnica de muestreo al azar “zig-zag” de la zona con quema y sin quema, con el fin de comparar la variación de las propiedades del suelo post fuego (11). Ver ANEXO N° 4.

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

La investigación emplea la observación cuantitativa, tratamiento estadístico descriptiva e inferencial para analizar la variación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

La muestra de suelo se extrajo de la capa superficial de suelo, tanto de la zona del suelo afectado por la quema de vegetación, como del suelo donde no hubo quema de vegetación.

Se realizó una excavación en cada punto de muestreo, para obtener primero una muestra a una profundidad de 5-10 cm, y la otra muestra de 0-5 cm, debido a que en esta profundidad del suelo se tiene mayor afectación.

El peso de cada muestra de suelo fue de aproximadamente 1 kg de suelo, que fue colocado en una bolsa de polietileno, con los datos de: fecha, lugar de muestreo, nombre del tesista y clave de muestra, y fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis. Se eligió este laboratorio ya que cuenta con la acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Ver: ANEXO N° 3.

3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos empleados en la investigación fueron los siguientes:

Tabla 6. Instrumentos de investigación.

Técnica	Instrumento
Observación cuantitativa	Extracción de muestras de la capa superficial del suelo
Tratamiento estadístico descriptivo	Medidas de tendencia central (media, mediana)
	Medidas de dispersión (desviación estándar)
Tratamiento estadístico inferencial	Prueba de varianza ANOVA
	Prueba de comparación múltiple de DUNCAN

Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos utilizados para los análisis de las muestras de suelo corresponden a cada método de análisis de suelo, en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 7. Métodos de análisis Físico - Químico del suelo.

Parámetro	Método
Textura:	
- Arena (%)	Bouyoucos
- Limo (%)	
- Arcilla (%)	
- Clase textural	Triángulo textural
Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	Conductímetro

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

pH	Potenciómetro
Materia Orgánica	Walkley y Black
Fósforo disponible	Olsen modificado
Potasio disponible	Acetato de amonio
CIC: Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio

3.5. Técnica de tratamiento de datos

Para el tratamiento de datos se aplicó el software INFOSTAT.

Los datos, resultado del análisis de suelo, fueron analizados utilizando el Análisis de Variancia; con dos fuentes de variación: (A) quema de vegetación (a_1 = con quema y a_2 = sin quema), y (B) profundidad (b_1 = 0-5 cm y b_2 = 5 -10 cm).

El modelo aditivo lineal del análisis de varianza fue el siguiente:

$$X_{jk} = \mu... + v_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

X_{jk} = resultado de la medición en una unidad experimental

$\mu...$ = media poblacional

v_i = mide los efectos del factor A (quema)

β_j = mide los efectos del factor B (profundidad del suelo)

$\tau\beta_{ij}$ = mide los efectos de la interacción AB (quema x profundidad del suelo)

ε_{ijk} = mide el error experimental

Prueba de hipótesis:

Factor A: quemado

Ho: $a_0 = a_1$

Ha: $a_0 \neq a_1$

Factor B: profundidad del suelo

Ho: $b_1 = b_2$

Ha: $b_1 \neq b_2$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Posteriormente se aplicó la prueba de significación de Duncan para comparar los tratamientos entre medias.

Prueba de hipótesis:

Factor A: quemado

Ho: $a_0 = a_1$

Ha: $a_0 \neq a_1$

Factor B: profundidad del suelo

Ho: $b_1 = b_2$

Ha: $b_1 \neq b_2$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Los resultados del análisis de suelo, en sus propiedades físicas (textura y densidad aparente); y químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable) fueron analizados para observar su variación debido a la quema de vegetación.

Los análisis de suelo realizados tienen en promedio un grado de confianza de 0,05 en cada una de las determinaciones realizadas (información directa de laboratorio).

4.1.1. Resultados del análisis físico del suelo

4.1.1.1. Contenido de arena

En el Figura 15, Durante el estudio que se realizó en “Corona de Fraile” se registró un valor máximo de porcentaje de arena de 58% para 5 - 10 cm de profundidad en suelo con quema. Asimismo, se registró valor mínimo de porcentaje de arena de 48% con una profundidad 5 - 10 cm en suelo sin quema.

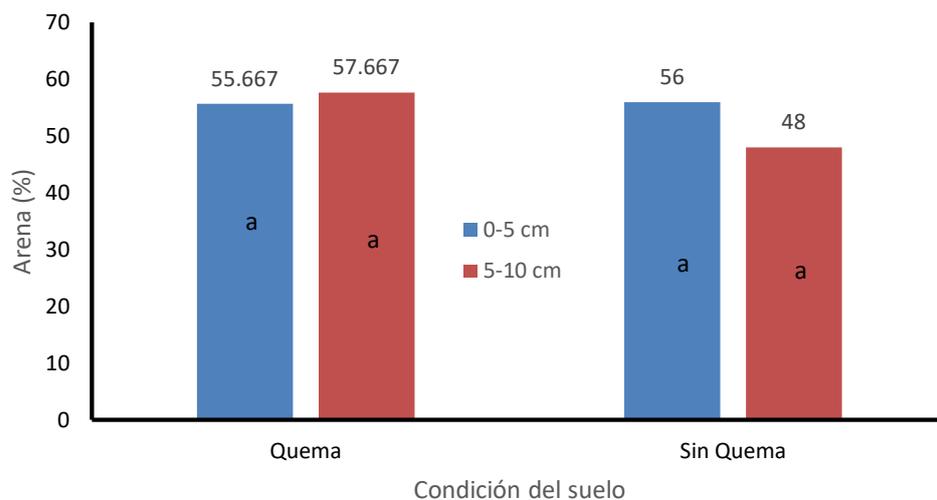


Figura 15. Porcentaje de arena en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.1.2. Contenido de limo

En el Gráfico 16, muestra un valor máximo de porcentaje de limo de 38% para 5 - 10 cm de profundidad en suelo sin quema. Asimismo, se registró valor mínimo de porcentaje de limo de 27% con una profundidad 5 - 10 cm en suelo con quema.

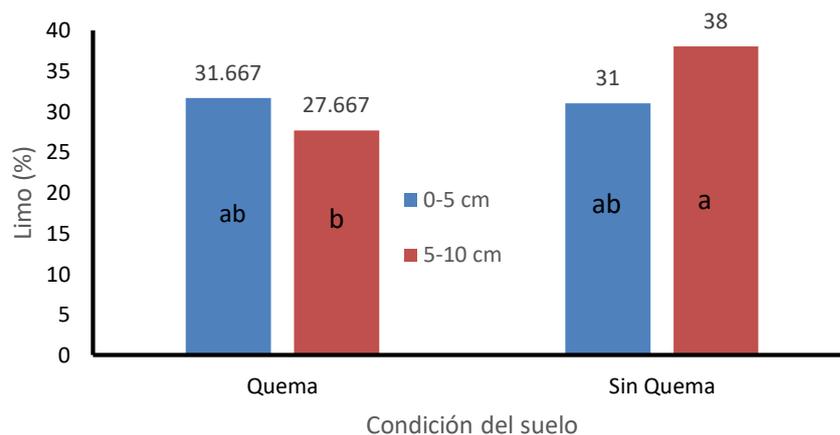


Figura 16. Porcentaje de limo en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile” Distrito de Huancayo.

4.1.1.3. Contenido de Arcilla

En la Figura 17, muestra un valor máximo de porcentaje de arcilla de 9% para 0 - 5 cm de profundidad en suelo con quema. Asimismo, se registró valor mínimo de porcentaje de arcilla de 5% con una profundidad 5 - 10 cm en suelo sin quema.

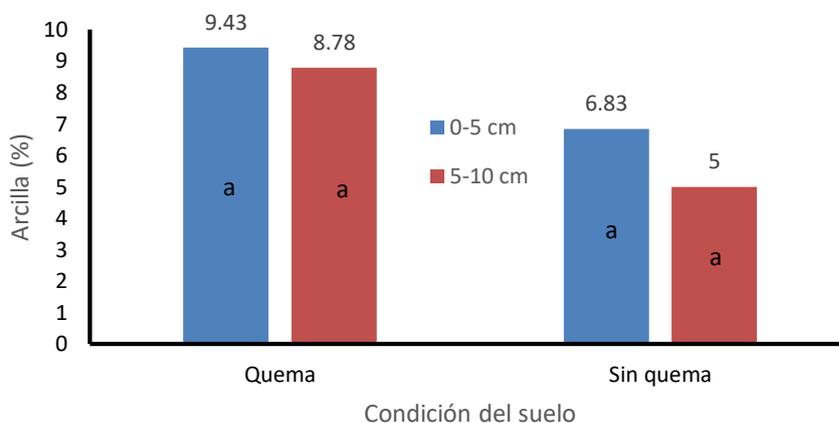


Figura 17. Porcentaje de arcilla en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.

4.1.1.4. Densidad aparente (DA)

En Figura 18, muestra un valor mínimo de Densidad Aparente de 0.55 Mg/m³ a 0 - 5 cm de profundidad en suelo sin quema. Asimismo, se registró valor máximo de 0.72 Mg/m³ a profundidad 0 - 5 cm en suelo con quema.

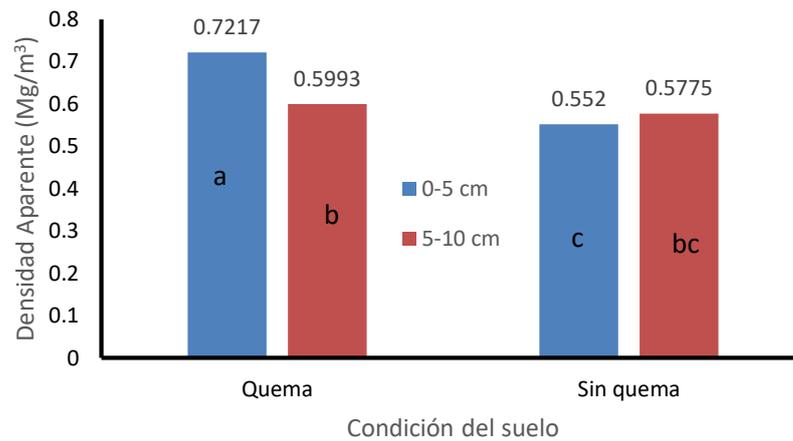


Figura 18. Densidad aparente en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2. Resultados del análisis de las propiedades químicas del suelo

4.1.2.1. pH

En la Figura 19 se muestra los valores de pH el máximo de 5.52 para suelo sin quema a una profundidad de 0 - 5 cm y el mínimo de 5.45 para suelo con quema a una profundidad de 0 - 5 cm.

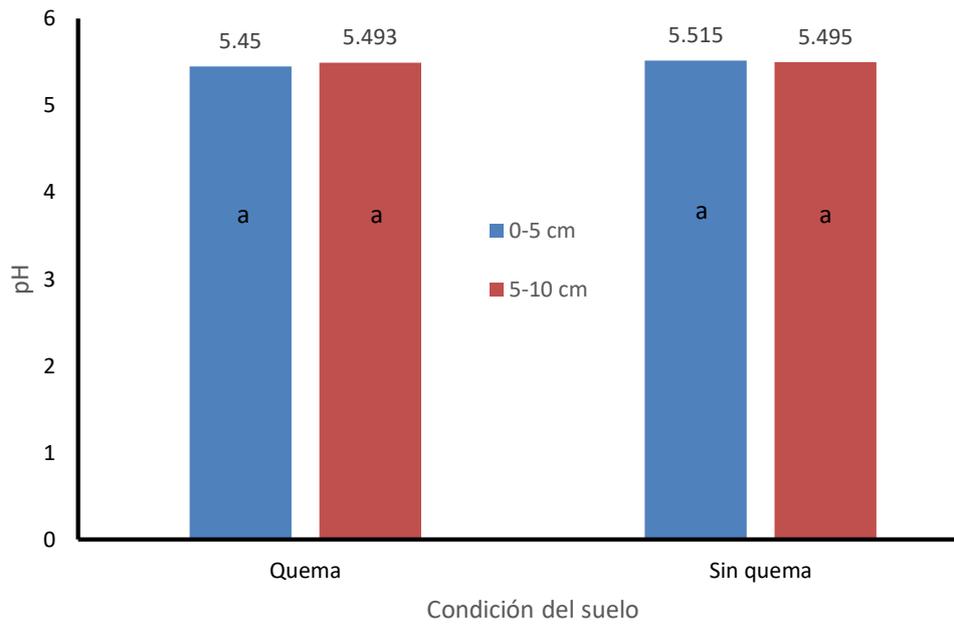


Figura 19. pH del suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo

4.1.2.2. La Conductividad Eléctrica (CE)

La Figura 20, muestra los valores de conductividad eléctrica, el máximo fue de 0.163 dS/m para el suelo con quema a una profundidad de 0 - 5 cm y un valor mínimo de 0.08 dS/m para el suelo sin quema a una profundidad de 0 - 5 cm.

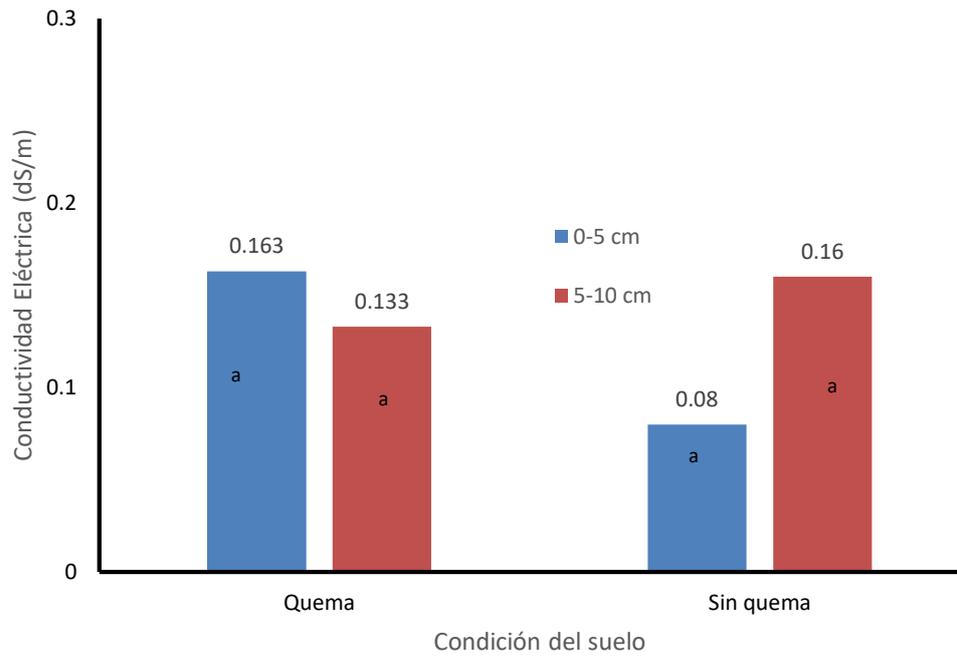


Figura 20. Conductividad eléctrica en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2.3. La materia orgánica (MO)

El Gráfico 7, muestra los porcentajes de materia orgánica; el máximo es de 9.4% para suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad y el mínimo de 5.1% para suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad.

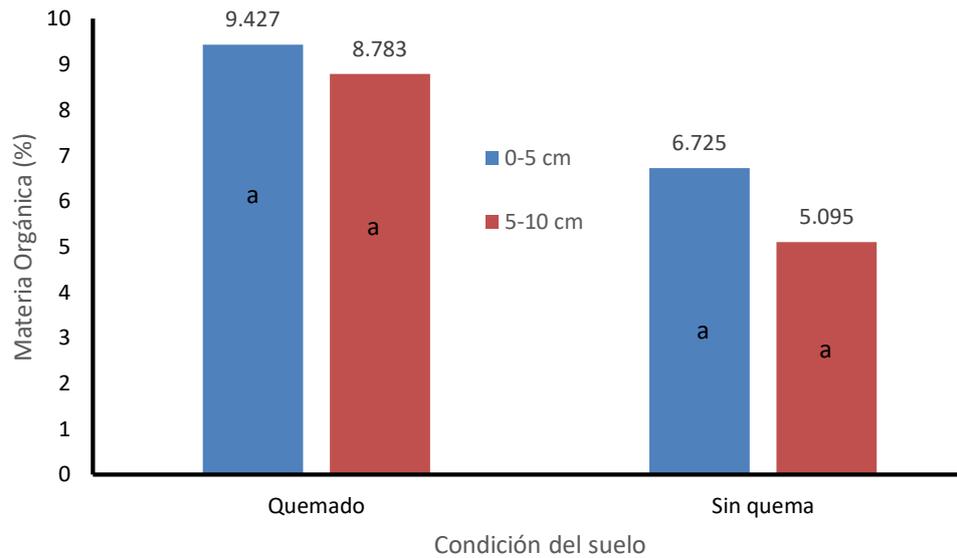


Figura 21. Materia orgánica en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2.4. Fósforo disponible (P)

En la Figura 22, se muestra los valores de fosforo disponible, el máximo es de 3.4 ppm en suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad y el mínimo de 2.15 ppm en suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad.

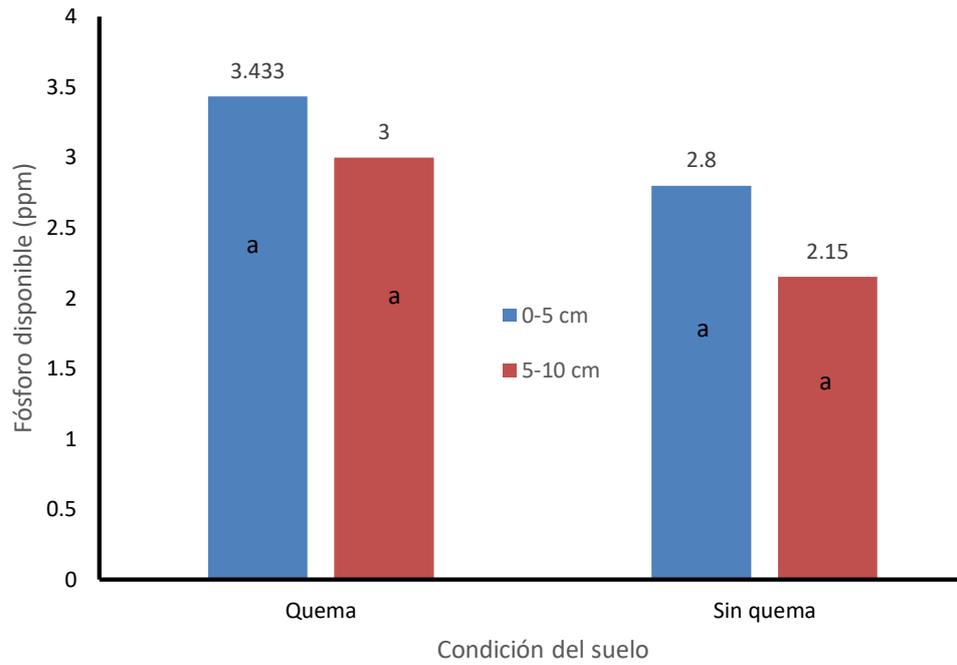


Figura 22. Fósforo disponible en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo

4.1.2.5. Potasio disponible (K)

En la Figura 23, se muestra los valores de potasio disponible el máximo es de 176.6 ppm en suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad y el mínimo de 87.5 ppm en suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad.

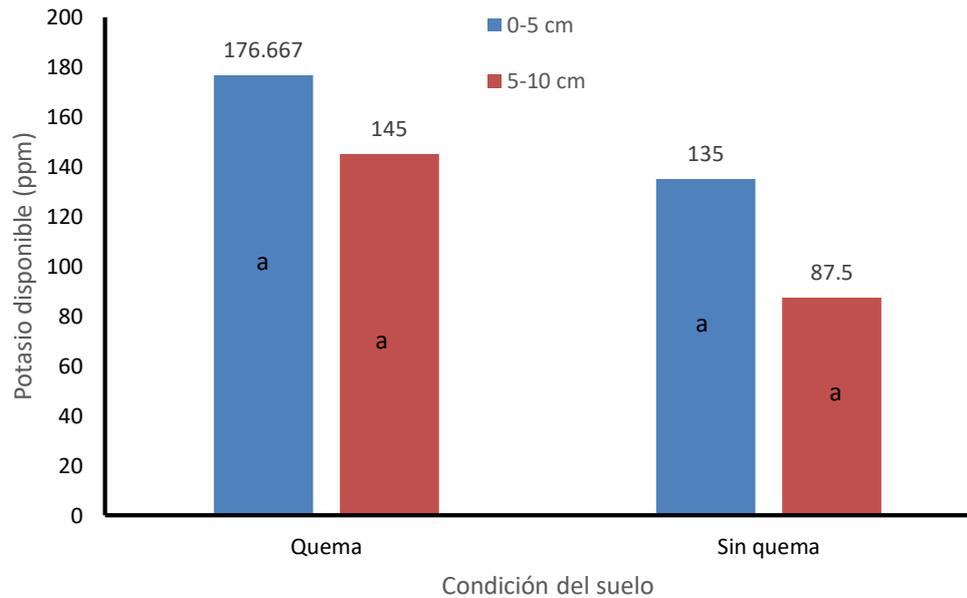


Figura 23. Potasio disponible en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

En la Figura 24, se muestra los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC); el máximo es de 9.4 cmol/kg en suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad y el mínimo de 6.35 cmol/kg en suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad.

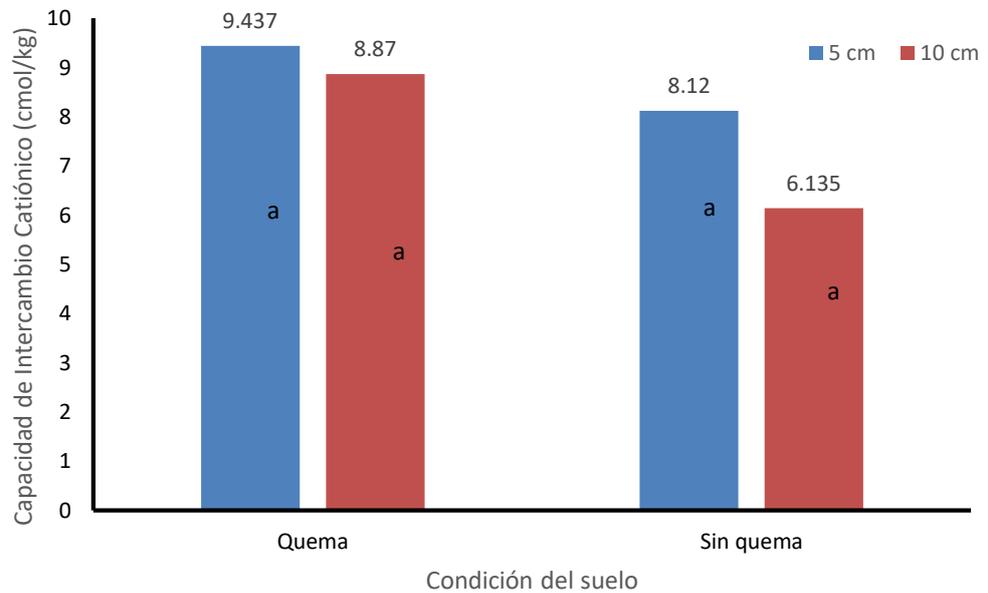


Figura 24. Capacidad de intercambio catiónico en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2.7. Saturación de bases (SB)

En la Figura 25, se muestra los resultados de la saturación de bases el porcentaje máximo es de 98.46% en suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad y el mínimo de 96.18% en suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad.

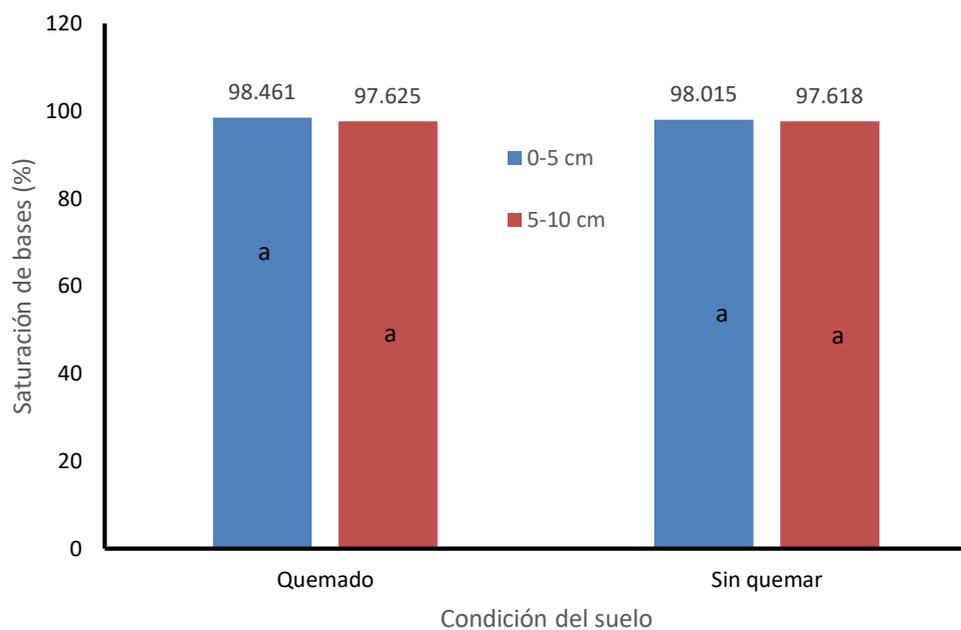


Figura 25. Saturación de bases en el suelo con quema y sin quema. “Corona del Fraile”. Distrito de Huancayo.

4.1.2.8. Acidez intercambiable (AI)

En la Figura 26, se muestra los resultados de acidez intercambiable el porcentaje máximo es de 2.38% en suelo sin quema a 5 - 10 cm de profundidad y el mínimo de 1.54% en suelo con quema a 0 - 5 cm de profundidad.

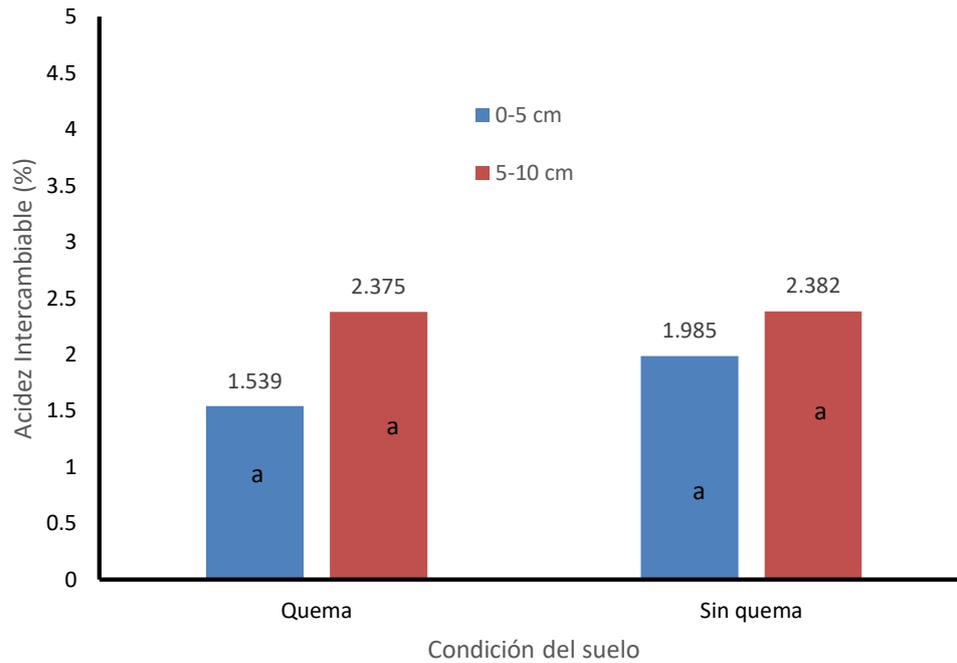


Figura 26. Acidez Intercambiable en el suelo con quema y sin quema. "Corona del Fraile". Distrito de Huancayo.

4.2. Prueba de hipótesis

a. Prueba ANOVA

Hipótesis:

Factor A: quemado

Ho: $a_0 = a_1$

Ha: $a_0 \neq a_1$

Factor B: profundidad del suelo

Ho: $b_1 = b_2$

Ha: $b_1 \neq b_2$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

b. Prueba ANOVA para la variación interanual

Hipótesis:

Factor A: quemado

Ho: $a_0 = a_1$

Ha: $a_0 \neq a_1$

Factor B: profundidad del suelo

Ho: $b_1 = b_2$

Ha: $b_1 \neq b_2$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Propiedades físicas

En la Figura 15 se presentan los datos para los suelos con quema, sin quema, y para dos profundidades cada uno, observándose que no hubo efecto sobre la variación estadísticamente significativa en el contenido de arena en cada muestra de suelo, ($p < 0.05$). Estos resultados son contrarios a los reportados por (71), quienes observaron que la tala y quema puede tener un impacto sobre las propiedades físicas del suelo, debido a que, en el presente trabajo de investigación, en el suelo de “Corona del Fraile”, la intensidad de la quema fue menor, comparado a una quema y tala, propia de zonas tropicales.

4.3.1.1. Contenido de arena

El análisis de variancia del contenido de arena en suelos, evaluados para los factores: quema, profundidad e interacción quema x profundidad, no presenta diferencias estadísticas significativas. Es decir, la quema de vegetación no afectó el contenido de arena en los suelos evaluados, debido a que esta separata del suelo es difícilmente modificable ver la N° 1, de los Anexos.

La prueba de comparación múltiple de Duncan, para los promedios de arena en los factores de evaluación; quema, profundidad e interacción quema por profundidad, no presenta diferencias estadísticas significativas entre cada nivel, atribuible a la poca vegetación presente en estos suelos, ubicados en laderas de la colina donde se evaluó la quema de vegetación. El contenido de arena, como separata componente de la textura del suelo, es una propiedad del suelo que difícilmente está sujeta a cambio, por su resistencia a factores como temperatura (quema), debido a su contenido de cuarzo y feldespatos resistentes a estos factores (29). Los datos de la prueba de Duncan aparecen en las Tabla 2 al 4, de los Anexos.

4.3.1.2. Contenido de limo

Las partículas del suelo, más pequeñas que la arena, como el limo, pueden ser alteradas por la quema de vegetación que sobre yace en el suelo, dependiendo de la intensidad del fuego y el volumen de vegetación (Figura 16); esto corrobora lo encontrado en Nigeria (71), cuyos investigadores hallaron cambios apreciables en la

distribución del tamaño de partículas de los suelos después de la quema, en lugares experimentales. Estos resultados se pueden atribuir a la agregación de las partículas grandes (arena) con partículas pequeñas, como el limo, y de esa manera disminuir el contenido de partículas individuales de limo. El resultado de este efecto es la mayor agregación del suelo.

Los resultados del análisis del contenido de partículas de limo en los suelos de “Corona del Fraile”, muestran que la quema disminuyó el contenido de limo en las dos primeras capas de suelo, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm, respecto al suelo sin quema en la capa de 5 - 10 cm, que presenta un contenido de 38% de limo.

La prueba de comparación múltiple de Duncan, para los promedios de limo en los factores de evaluación; quema y profundidad, presenta ligera diferencia estadística significativa entre cada nivel, atribuible a la poca alteración de estas partículas del suelo, siendo la interacción: sin quema x profundidad (5 - 10 cm), la que sobresale en el primer lugar en orden de mérito, respecto a las demás interacciones en las Tablas N° 6 al N° 8, de los Anexos.

4.3.1.3. Contenido de Arcilla

En la Figura 17 se presenta los porcentajes de arcilla, en los suelos con y sin quema a dos profundidades, no observándose diferencias estadísticas significativas entre los suelos ($p < 0.05$). Esto indica que la quema de vegetación en los suelos de “Corona del Fraile” no alteró significativamente el contenido de arcilla, debido probablemente a la baja intensidad de la vegetación para que pueda transformarse la arcilla, considerando que son partículas menores de 0.002 mm en diámetro promedio.

La prueba de comparación múltiple de Duncan, para los promedios de arcilla en los factores de evaluación; quema, profundidad e interacción quema x profundidad, no presenta diferencias estadísticas significativas entre cada nivel, atribuible a que en general las separatas del suelo, que determinan la textura, son difícilmente modificables (29). Los datos procesados se presentan en las Tablas 9 al 12, de los Anexos.

4.3.1.4. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente del suelo, una propiedad física, se incrementó debido a la quema de vegetación del suelo, en la zona de “Corona del Fraile”, del distrito de Huancayo, siendo la capa de suelo de 0 - 5 cm la que presentó mayor densidad aparente, con un valor de 0,7217 Mg/m^3 , superando estadísticamente ($p < 0.05$) al suelo con quema a profundidad de 5 - 10 cm, y a los suelos sin quema de vegetación.

Estos resultados se atribuyen a la mayor ocupación de los poros del suelo, por la mezcla del suelo durante el proceso de quema, que aumenta su densidad aparente, reduciendo su porosidad, especialmente en las primeras capas de suelo. Estos resultados son similares a los encontrados por (71), quienes registraron un ligero

incremento entre 0.8% y 4% en la densidad de volumen del suelo a profundidades de 0 - 0.05 m y 0.05 - 0.10 m, respectivamente.

Si comparamos el incremento de densidad aparente en cada capa de suelo, se observa que en la capa de 0 - 5 cm, los valores varían de 0.552 Mg/m^3 (suelo sin quema) a 0.7217 Mg/m^3 (suelo con quema), representando un incremento de 30,74%. En la profundidad de 5 - 10 cm, los valores de densidad aparente varían de 0.5775 Mg/m^3 (suelo sin quema) a 0.5993 Mg/m^3 (suelo con quema), representando un incremento de 3.77%.

Los análisis de variancia y las pruebas de significación de Duncan, se reportan en las Tablas 13 al 16, de los anexos.

4.3.2. Resultados del análisis de las propiedades químicas del suelo

4.3.2.1. pH

La Figura 19 presenta los valores de pH encontrados en los suelos de “Corona del Fraile”, observándose que no se presentan diferencia estadística significativas ($p < 0.05$) para el efecto de la quema de vegetación en el suelo, a dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 -10 cm; esto se atribuye a la acidez del suelo, cuyas cantidades menores de cenizas generadas por la quema de vegetación no incrementaron las bases y el pH del suelo.

Los datos encontrados, tienen similitud con lo encontrado en suelos ácidos, en un Latosol Amarillo (24), donde se observó que el pH aumentó de 3.8 a 4.5 con la quema, y bajo rápidamente a su valor original en unos 4 meses; asimismo en un Ultisol del Perú (25), se encontró que el pH aumentó de 4.0 a 4.5 en la capa arable y permaneció estable en este nivel durante el primer año.

Se debe agregar que los suelos de “Corona del Fraile”, del distrito de Huancayo, presentan alto contenido de materia orgánica, pero sin llegar a ser suelos orgánicos, y eso incrementa el poder tampón de los suelos, evitando cambios bruscos de pH, en este caso por la acción de las cenizas. Este tipo de datos también fueron reportados en la zona costera de Massachusetts (72), donde la frecuencia de quema no tuvo efecto en el pH de un suelo orgánico.

4.3.2.2. La conductividad eléctrica (CE)

La Figura 20 presenta los resultados de la medición de la conductividad eléctrica en las muestras de suelo de “Corona del Fraile” del distrito de Huancayo, sin diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para los suelos con quema y sin quema, a dos profundidades de muestreo, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm; siendo los valores bastante bajos, que indican la ausencia de exceso de sales solubles en estos suelos, pues se considera un suelo salino cuando supera los 4 dS/m de conductividad eléctrica.

El relativo incremento de la conductividad eléctrica en los suelos con quema, en la profundidad de 0 - 5 cm, de 0.08 dS/m a 0.163 dS/m, es debido a la generación cenizas con presencia de bases como calcio y magnesio, que se unen con cloruros y sulfatos, para formar sales en el suelo; la diferencia con otras condiciones de suelo, es que las sales presentes en los suelos del experimento, tienen baja concentración y los incrementos no son significativos.

Los datos de análisis de variancia y la prueba de comparación múltiple de Duncan, se presentan las Tablas del 21 al 24, de los Anexos.

4.3.2.3. La materia orgánica (MO)

La Figura 21 presenta los resultados de la medición del contenido de materia orgánica (cuyo principal componente es el carbono orgánico) de los suelos de "Corona del Fraile", que han experimentado quema y que no han experimentado quema a dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm, observándose que no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, esto se puede atribuir a los altos contenidos de materia orgánica encontrado en estos suelos ($MO > 4\%$). Estos datos encontrados, coinciden con lo encontrado por (72), donde al evaluar la frecuencia y estacionalidad del fuego sobre los suelos, el quemado no tuvo efecto sobre el suelo mineral en el porcentaje de carbono.

Los datos encontrados en la zona de "Corona del Fraile", presentan una ligera tendencia (no significativa) al incremento de materia orgánica con la quema, en las dos profundidades, respecto al suelo donde no se experimentó la quema, lo cual se debe a la combustión incompleta de la vegetación y a las dimensiones de las partículas de carbono en forma de carbono orgánico (27)

El análisis de variancia del contenido de materia orgánica en los suelos y las pruebas de significación de Duncan, se presentan en las Tablas N° 25 al N° 28, de los Anexos.

4.3.2.4. Fósforo disponible (P)

La Figura 22 presenta los datos del contenido de fósforo disponible de los suelos de "Corona del Fraile" que han experimentado quema respecto a los suelos que no han experimentado quema, evaluando dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 -10 cm, observándose que no hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en el contenido de fósforo disponible en ningún tratamiento, indicando que no hubo efecto del fuego en el contenido de fósforo disponible del suelo.

Una de las razones, puede ser los bajos contenidos de fósforo disponible encontrados en estos suelos ($P disponible < 7 ppm$), lo cual no manifiesta un efecto de alteración. Aun así, las pequeñas diferencias que se observan entre el suelo con quema (mayor P disponible) y el suelo sin quema, revelan que la quema incrementa la liberación

de fósforo, debido a la oxidación de materia orgánica y presencia de cenizas. Estos últimos datos, concuerdan con la afirmación que la quema tiene efectos benéficos sobre el suelo, mejorando la fertilidad del suelo a través de las cenizas (18).

El análisis de la variancia del contenido de P disponible del suelo y la prueba de comparación múltiple de Duncan se presentan en las Tablas del N° 29 al N° 32, de los Anexos.

4.3.2.5. Potasio disponible (K)

La Figura 23 muestra los datos de potasio disponible de los suelos de “Corona del Fraile”, que han experimentado quema, respecto a los que no han experimentado quema, evaluados a dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm, no presentando diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

Las ligeras diferencias observadas entre los suelos que han experimentado quema y los que no han experimentado quema, presenta un ligero incremento de potasio disponible en los suelos que han experimentado quema, a ambas profundidades, debido a la liberación de potasio de los materiales orgánicos que se han transformado en cenizas. No son significativos debido a la incompleta combustión de los residuos vegetales. Estos datos concuerdan con las afirmaciones que hacen los investigadores, que la quema de vegetación genera depósitos de cenizas ricas en nutrientes, en la superficie del suelo, con los cual los cultivos que desarrollarán en estos suelos reciben los beneficios de estos nutrientes (18).

Es necesario resaltar que el ligero incremento de potasio disponible en la capa de 0 - 5 cm, de 135 ppm en el suelo sin quema a 176.667 en el suelo con quema, significa contenidos medios de potasio disponible (contenido de K disponible en el suelo: 100-240 ppm); mientras que en la capa de 5 a 10 cm, de 87.5 ppm (*contenido bajo = < 100 ppm*) varía a 145 ppm (*contenido medio = 100 – 240 ppm*), debido a que en la capa sub superficial se incrementa la fracción inorgánica del suelo, especialmente el limo, que contiene minerales primarios (feldespatos y micas), que son la fuente de potasio del suelo.

El análisis de variancia de los datos de potasio disponible, así como las pruebas de comparación múltiple de Duncan, se presenta en las Tablas del N° 33 al N° 36, de los Anexos.

4.3.2.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La Figura 24 presenta los datos de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los suelos de “Corona del Fraile”, que han experimentado quema, respecto a los que no han experimentado quema, evaluados a dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm, observándose que no hay diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los

tratamientos, variando la CIC entre 6.135 y 9.437 meq/100g, calificado como bajo ($CIC = 8 - 12 \text{ meq}/100g$) a moderadamente bajo ($CIC = 4 - 8 \text{ meq}/100g$).

La tendencia de la CIC de los suelos con quema en la zona de “Corona del Fraile”, es a un ligero incremento, respecto a los suelos sin quema, lo cual es contrario a lo encontrado en las sabanas de Colombia y Venezuela (33), donde se encontró mayor capacidad de intercambio catiónico efectiva en sabanas protegidas que no recibieron quema. La falta de significación estadística encontrado en esta investigación, para la CIC del suelo, demuestra que las ligeras variaciones se deben a la combustión incompleta de la vegetación por el fuego y a los niveles bajos de CIC en el suelo, que hace que cualquier variación no sea significativa.

El análisis de variancia de los datos de CIC, así como las pruebas de comparación múltiple de Duncan, se presenta en las Tablas del N° 37 al N° 40, de los Anexos.

4.3.2.7. Saturación de bases (SB)

La Figura 25 del cálculo de la saturación de bases del suelo en “Corona del Fraile” con y sin quema de vegetación, evaluada a dos profundidades, de 0 - 5 cm y de 5 - 10 cm, no presenta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), indicando que la quema de vegetación no influyó en la saturación de bases del suelo, variando los valores entre 97.618 y 98.461, que son valores altos de saturación de bases en el suelo.

Estos datos sugieren que la quema incompleta de vegetación, debido a la baja intensidad del fuego, generó pocas bases cambiables en el suelo que experimentó quema, respecto al suelo que no experimentó quema. Esto está corroborado con el cambio de pH observado en los tratamientos, pues tampoco se encontró significación estadística, considerando que la relación entre pH y saturación de bases es directa.

Los datos encontrados en los suelos de “Corona del Fraile” son similares a los encontrados por (72), en una zona de bosque de pino y roble, donde el quemado no tuvo efecto significativo en el contenido de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ cambiables (que constituyen la saturación de bases junto con el potasio y sodio), esperando tener más evaluaciones posteriores para corroborar lo encontrado en esta investigación.

El análisis de variancia de los datos de la saturación de bases, así como las pruebas de comparación múltiple de Duncan, se presenta en las Tablas del N° 41 al N° 44, de los Anexos.

4.3.2.8. Acidez intercambiable (AI)

La Figura 26 presenta los datos de la acidez intercambiable (AI) en los suelos de la zona “Corona del Fraile”, con quema y sin quema, evaluados a dos profundidades: 0 - 5 cm y 5 - 10 cm, no observándose diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

entre los tratamientos, lo cual se puede atribuir a los bajos tenores de acidez intercambiable $AI = \left(H^+ + Al^{+3} / CIC \right) \times 100$, que hacen que cualquier cambio no sea significativo.

Estos resultados están relacionados inversamente a la saturación de bases, pues cuando uno aumenta el otro disminuye, habiéndose observado en los suelos del experimento, que la saturación de bases no tiene diferencias estadísticas significativas.

El análisis de variancia de los datos de la acidez intercambiable, así como las pruebas de comparación múltiple de Duncan, se presentan en las Tablas del N° 45 al N° 48, de los Anexos.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas de los suelos de “Corona del Fraile”, como la distribución del tamaño de partículas (arena, limo y arcilla) no mostró el efecto de la quema en el porcentaje de arena y arcilla, pero si en el limo, disminuyendo su contenido, especialmente en la capa de 5 - 10 cm.
2. La densidad aparente, propiedad física del suelo, se incrementó en los suelos con quema en un porcentaje de 30.74% en la capa de 0 - 5 cm, mientras que en la capa de 5 - 10 cm se incrementó en solo 3.77%.
3. La quema no tuvo efecto significativo en las propiedades químicas del suelo: pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez intercambiable, siendo los valores de pH ácido, baja conductividad eléctrica, alto contenido de materia orgánica, bajo fósforo disponible, medio a alto contenido de potasio disponible, baja a moderadamente baja capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de bases y baja acidez intercambiable.
4. La incompleta combustión y los bajos contenidos de nutrientes de los suelos de la zona de “Corona del Fraile”, pueden ser las causas de la falta de significación estadística en suelos con quema de vegetación respecto a suelos que no han experimentado quema de vegetación.

5. Se observa una tendencia no significativa de incremento de materia orgánica, contenido de fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico en los suelos que han experimentado quema en la zona de “Corona del Fraile”, distrito de Huancayo, que puede atribuirse a la baja intensidad del fuego durante la quema de vegetación en la zona experimental.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar actividades educativas para generar conciencia en la población sobre la quema de pastos como una práctica peligrosa por sus efectos nocivos, tanto al ambiente como a la salud de las poblaciones aledañas ya que no hay programas sostenibles ejecutados por entidades encargadas del estado.
2. Recomendar que las instancias gubernamentales pertinentes hagan monitoreo de la aplicación de fuego a campos de pasturas, y hacer quemas programadas, como una práctica de renovación de pasturas, evitando las quemas accidentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ROSERO, J. y OSORIO, I.** Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. [En línea] CUADERNO ACTIVA, 27 de Octubre de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2017.] <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130>.
2. **GOLDAMMER, J.** Biomass burning and the atmosphere. [En línea] Forests and Global Climate Change: Forests and the Global Carbon Cycle., 1985. [Citado el: 19 de Mayo de 2017.]
3. **GONZALEZ, C., y otros.** Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego. [En línea] Ciencia del Suelo, 19 de Febrero de 2001. [Citado el: 21 de Marzo de 2017.] https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Kunst2/publication/242100016_Comportamiento_de_algunas_propiedades_del_suelo_en_una_sabana_del_Chaco_semiarido_occidental_bajo_distintas_frecuencias_de_fuego/links/0046352a06a38b2e0b000000/Comportamiento-de-algu.
4. **BERNARDIS, A., y otros.** Efecto de la quema prescripta de un pastizal sobre el balance de CO₂. [En línea] Agrotecnia, 18 de Noviembre de 2008. [Citado el: 13 de Junio de 2017.] http://baunne.unne.edu.ar/revista_agrotecnia/pdfs/AG_18_08_Bernardisetal.pdf. 0328-4077.
5. **LITTON, C. y SANTELICES, R.** Efecto del fuego en las propiedades físicas y químicas en un bosque. [En línea] 2003. [Citado el: 14 de Mayo de 2017.] http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2003000400001&lng=es&nrm=iso. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000400001>.
6. **MANTA, M y LEON, H.** Los incendios Foresales en el Peru: Grave problema por resolver. [En línea] 19 de Diciembre de 2005. [Citado el: 12 de Abril de 2017.] <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2392/2001>.
7. **CAPULIN, J., MOHEDANO, L. y RAZO, R.** Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. [En línea] Terra Latinoamericana, 15 de Marzo de 2010. [Citado el: 15 de Julio de 2017.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100009&lng=es&nrm=iso. ISSN 2395-8030.

8. **SAMANIEGO, C.** *Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus en Huaraz.* Lima : Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina , 2013.
9. **AGUIRRE, L.** Impacto de la Quema Controlada en los Pastizales de los Páramos de la Sierra Central del Perú. [En línea] 25 de Mayo de 2000. [Citado el: 12 de Mayo de 2017.]
http://condesan.org/mtnforum/sites/default/files/publication/files/Impacto_de_la_Quema_Controlada_en_los_Pastizales_de_los_P_ramos_de_la_Sierra_Central_del_Per_.pdf.
10. **DE GRUIJTER, J. y SAMPLING, J.** Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. [aut. libro] Soil Science Society of America. Madison Wisconsin. *Soil Science Society of America Book Series, Vol. 5.* 2002.
11. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Guía para el Muestreo de Suelos.* Lima : E.I.R.L, MAVET IMPRESIONES, 2014. págs. 15-35. N° 2014-15792.
12. **DOMÍNGUEZ CÉSPEDES, Heber Danilo.** *Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidas por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada .* Manizales : Universidad de Caldas , 2016.
13. **GIARDINA, C.P. y RHOADES, C.C.** Clear cutting and burning affect nitrogen supply, phosphorus fractions and seedling growth in soils from a Wyoming lodgepole pine forest. [En línea] *Forest Ecology and Management*, 2001. [Citado el: 20 de Junio de 2017.]
14. **WUEST, S.B, WRIGHT, S.F. y WILLIAMS, J.D. .** Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration, biological, and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. *Soil & Tillage*. [En línea] Elsevier, 2005. [Citado el: 20 de Junio de 2017.]
15. **WEIL, R.R. y BRADY, N.C.** *The Nature and Properties of Soils. 15th edition.* Estados Unidos : Pearson, 2016. 978-0133254488.
16. **LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. y HERNÁNDEZ-VALENCIA, I.** Cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo de una sabana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años. [En línea] *Bioagro*, 20 de Diciembre de 2008. [Citado el: 05 de Enero de 2017.] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85714153001>. ISSN 1316-3361.
17. **HERNANDEZ, Ismael y LOPEZ, Danilo.** Efectos de la quema sobre el ciclo del fósforo en una sabana de Trachypogon. *Ecotropics*. [En línea] Sociedad Venezolana de

Ecología, 28 de Febrero de 1999. [Citado el: 09 de Diciembre de 2016.]
<https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Hernandez-y-Lopez-1999a.pdf>.

18. **GLIESSMAN, S.R.** *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba : CATIE, 2002. ISBN 9977-57-385-9..

19. **MARTINEZ, E.** *Manual de quemas controladas: el manejo del fuego en la prevención de incendios forestales*. Madrid : Mundi-Prensa Libros, 2001. pág. 175. ISBN: 9788471149428.

20. **ÚBEDA, X.** Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología*, [En línea] GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània) Dpto. Geografia Física i AGR. Facultat de geografia i Història. Universitat de Barcelona. C/ Baldiri Reixac s/n. 08028 Barcelona., 2001. [Citado el: 10 de Marzo de 2017.]
<http://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/partes%20volumen%208-1/paginas%2041-49.pdf>.

21. **CERTINI, G.** Effects of fire on properties of forest soils: a review. [En línea] Marzo de 2005. [Citado el: 12 de Mayo de 2017.] 1432-1939.

22. **MATAIX SOLERA, J.** *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. Universidad de Alicante. Alicante : Tesis, 2000. ISBN: 84-699-5462-8.

23. **SÁNCHEZ, P.** *Suelos tropicales. Características y Manejo*. Costa Rica. : s.n., 1981. 92-9039-017-4..

24. **NYE, P.H. y GREENLAND, D.** Changes in the soil after clearing a tropical forest. [En línea] 1964. [Citado el: 15 de Febrero de 2017.] http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_45-46/010007666.pdf. 21:101-112.

25. **SEUBERT, C.** *Effect of land clearing methods on crop performance and changes in soil properties in an Ultisol of the Amazon Jungle of Perú*. North Carolina State University : Tesis, 1975.

26. **FRANCKE, S.** Efecto en Detenninadas Propiedades Químicas del Suelo y Sobre la Reserva de Nutrientes del Suelo Mineral en Relación al Estado Nubicional y Rendimiento de. [En línea] Instituto Forestal. Santiago, Chile., 1989. [Citado el: 21 de Julio de 2017.] <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/18596.pdf>.

27. **LE BUANEC, B.** . Dix ans de culture motorisée sur un bassin versant du centre Côte d'Ivoire. [En línea] Agron. Tropicale (France), 14 de Octubre de 1972. [Citado el: 12 de Junio de 2017.]
28. **DE LAS HERAS , J., MARTINEZ, J y HERRANZ.** Impacto ecológico de los incendios. [En línea] Universidad de Castilla, 2001. [Citado el: 21 de Mayo de 2017.] file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-ImpactoEcologicoDeLosIncendiosForestales-1311669%20(2).pdf.
29. **FASSBENDER, H.W. y BORNEMISZA, E.** *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. San José : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1987.
30. **NYE, P.H. y GREENLAND, D.** The Soil under shifting cultivation. Commonwealth Bur. [En línea] 1960. [Citado el: 12 de Abril de 2017.]
31. **KUTIE, J. y NAVEB, Z.** The Effect of Fire on Nutrients in a Pine Forest Soil. Plant and Soil. [En línea] 1987. [Citado el: 13 de Junio de 2017.]
32. **SUARES DE CASTRO, F.** Las quemadas como práctica agrícola y sus efectos. [En línea] 1957. [Citado el: 14 de Enero de 2017.]
33. **WATTERS, R. y BASCONES, L.** . The influence of Shifting cultivation on soil properties at Altamira-Calderas, Venezuelan Andes. [En línea] 1971. [Citado el: 20 de Marzo de 2017.]
34. **NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY.** *Research on tropical soils. Annual Report*. North Carolina State University : Soil Science Department, 1974.
35. **VARELA, M.E.** *Efectos de los Incendios Forestales en la Degradación Física de los suelos de Galicia*. Universidad de Vigo Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo Facultad de Biología. Vigo : Tesis, 2007. Tesis.
36. **FOTH, H.** *Fundamentals of Soil Science*. Michigan : Arcata Graphics Company, 1978. Vol. 4. 0-471-52279-1.
37. **CELIS, R., JORDAN, A. y MARTINEZ, L.** Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. [aut. libro] A. BENTO y A. VIERIA. *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*. Sevilla. : Universidad de Sevilla. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, 2013.

38. **MANGAS, V.J., SÁNCHEZ, R.J., y ORTIZ, C.** Effects of a fire runoff and erosion on mediterranean forest soil in SE-Spain. *http://pirineos.revistas.csic.es/*. [En línea] Consejo Superior de Investigaciones Científicas Pirineos, 1992. [Citado el: 26 de Junio de 2017.] file:///C:/Users/Jorge/Downloads/171-169-1-PB%20(1).pdf.
39. **CHEYLAN, M. y JACQUET, K.** Synthèse des connaissances sur l'impact du feu en région méditerranéenne. [En línea] 01 de Enero de 2008. [Citado el: 14 de Agosto de 2017.] <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.15955.58404>.
40. **MATAIX-SOLERA, J. y GUERRERO, C.** *Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica*. Alicante : Caja Mediterráneo CEMACAM, 2007. págs. 5-40.
41. **BEYERS, J., BROWN, J. y DEBANO, L.** *Wildland Fire in Ecosystems Effects of Fire on Soil and Water*. Arizona : Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station., 2008. pág. 250.
42. **ROSETO, J. y OSORIO, I.** Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. [En línea] CUADERNO ACTIVA, 27 de Octubre de 2014. [Citado el: 15 de Agosto de 2017.] <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130>.
43. **NEARY, D., RYAN, K. y DEBANO, L.** Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. [En línea] Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 20 de Septiembre de 2005. [Citado el: 17 de Julio de 2017.] <https://pdfs.semanticscholar.org/e473/c57b237bcdd6540e696b6ec0b19a1a959cbf.pdf>.
44. **GARCIA, P.** Efectos del fuego en el recurso suelo. *Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales*. [En línea] 24 de Agosto de 2012. [Citado el: 14 de Agosto de 2017.] <http://www.redforesta.com/blog/2012/08/24/colaboraciones-tecnicas-efectos-del-fuego-en-el-recurso-suelo/>.
45. **WWF.** *Los bosques después del fuego*. Madrid : s.n., 2014. M-18081-2014.
46. **FLORES, E. M.** Reality, Limitations, and Research Needs of the Peruvian Livestock Sector. [aut. libro] SMALL RUMINANT CRSP. *En Latin America Livestock Regional Assessment Workshop*. San José de Costa Rica. : s.n., 1996.
47. **VERA, R.R.** Country pasture/forage resource profiles Peru. FAO. [En línea] 2006. [Citado el: 14 de Septiembre de 2017.] http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Peru_English.pdf.

48. **LÓPEZ, F., MELÉNDEZ, J. y DE CASTRO, A.J.** . Los incendios forestales. Aspectos medioambientales y tecnológicos. [En línea] Revista Mensual de Gestión Ambiental, 14 de Agosto de 1999. [Citado el: 13 de Julio de 2017.]
49. **FLORES, J.G. y BENAVIDES, J.** . Influencias de dos tipos de quemas. [En línea] INIFA, 1994. [Citado el: 09 de Agosto de 2017.]
50. **RAMOS, M., HEDRAS, J. y MARTINEZ, L.** *Uso de quemas prescritas en bosques naturales de Pinus tropicalis Morelet en Pinar del Río.* Cuba : Tesis Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. Facultad de Forestal y Agronomía. Departamento de Forestal, 2006. ISBN 978-959-16-0752-2.
51. **BATISTA, A.** *Avaliação da queima controlada em povoamentos de Pinus taeda L. no norte do Paraná.* Curitiba : Tesis, 1995.
52. **FREDERICKSEN, T. y KENNARD, D.** *Guía para la Realización de Quemadas Controladas.* Santa Cruz : Impreso en Editora El País, 1999.
53. **MOSCOVICH, F., IVANDIC, F. y BESOLD, L.** Manual de Manejo de Fuego y Control de Incendios Forestales. [En línea] Agosto de 2011. [Citado el: 12 de Septiembre de 2017.]
<http://www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/manejo/manual%20de%20incendios%20baja.pdf>.
54. **MYERS, R. L.** Incendios y ecosistemas: Un enfoque integral del manejo de fuego en América Latina. [En línea] Universidad de Pinar del Río, 14 de Agosto de 2006. [Citado el: 16 de Septiembre de 2017.] http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/Caribbean/SIMFOR%202006/Myers_us.pdf.
55. **RAISON, R.J., KHANNA, P.K y JACOBSEN, K.L.** Effect of fire on forest nutrient cycles. [En línea] 2009. [Citado el: 17 de Septiembre de 2017.]
56. **PYNE, S.** Introduction to Wildland Fire: Fire management in the United States. [En línea] 14 de Marzo de 1984. [Citado el: 14 de Agosto de 2017.] <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/81402/glezpelayo.pdf?sequence=1>.
57. **GONZÁLEZ, O.** *Dinámica de la humedad del suelo. Propiedades físicas y escorrentía en laderas mediterráneas afectadas por incendios forestales.* València : Tesis Universitat de València, 2011. 8437087937.

58. **RODRÍGUEZ, M. y ARAMENDÍA, A.** Métodos didácticos para análisis de suelos. [En línea] Universidad de Rioja, 2015. [Citado el: 15 de Octubre de 2017.] <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/580696.pdf>. ISBN 978-84-608-5117-2.
59. **MILLÁN, FERNANDO y MARIE , JEAN.** *Apendice Analítico: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELO Descripciones y reflexiones*. Mérida : Universidad de Los Andes, 2015. 978-980-11-1781-0.
60. **SADZAWKA, M.A., y otros.** *Métodos de Análisis Recomendados para Suelos de Chile*. Santiago de Chile : Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2006. pág. 164p. ISSN: 0717-4810.
61. **McKEAN, S.** Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. [En línea] Centro Internacional de Agricultura Tropical- CIAT, Agosto de 1993. [Citado el: 11 de Septiembre de 2017.] http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_t%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf.
62. **FAGGIONATO, R.** *Equivalente fertilizante de potasio para algunos suelos agrícolas de Uruguay*. Uruguay : Tesis de Grado Universidad de la República Facultad de Agronomía, 2011.
63. **DE LA HORA, A., CONTI, M. y DEFRIERI, R.** Potasio disponible, utilización de los extractantes de acetato de amonio y Bray-Kurtz. [En línea] Ciencia del Suelo, 1993. [Citado el: 11 de Octubre de 2017.] https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_10y11n1y2/De%20la%20Horra.pdf.
64. **MARTÍNEZ, J.** *Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos*. Texcoco : Colegio de Posgraduados, 2003.
65. **ATUESTA , C.** Comparacion de cinco metodos para determinar capacidad de intercambio cationico en suelos alcalinos. [En línea] 1974. [Citado el: 11 de Octubre de 2017.] https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/48448/49662.. ISSN En Línea: 2323-0118.
66. **FERNÁNDEZ, I.** *Influencia de los incendios forestales sobre la materia organica edafica*. Santiago de Compostela : Tesis Doctoral Universidad de Santiago de Compostela, 1997.

67. **SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA.** *Glossary of Soil Science Terms 2008.* Madison : Soil Science Society of America, 2008. págs. 1-93. ISBN 978-0-89118-851-3.
68. **PORTA, C., REGUERÍN, C. y DE LABURU. , r.** *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente.* Madrid : Ediciones Mundi-Prensa., 2003. ISBN: 9788484761488.
69. **MATAIX-SOLERA, J., y otros.** Fire effects on soil aggregation: a review. [En línea] *Earth-Science Reviews*, 28 de Agosto de 2011. [Citado el: 16 de Agosto de 2017.] https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45157353/Fire_effects_on_soil_aggregation_a_revie20160427-15966-1f236bb.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1509680304&Signature=BmV%2B%2BQHoeWXIOMJUvs0qZn9WUml%3D&response-content-disposition=in.0012-8252.
70. **SIMARD, A.J.** Fire severity, changing scales, and how things hang together. [En línea] *International Journal of Wildland Fire*, 1991. [Citado el: 12 de Agosto de 2017.]
71. **ARE, K. , y otros.** Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil Physical properties. [En línea] *Soil & Tillage Research*, 29 de Agosto de 2008. [Citado el: 12 de Marzo de 2017.] http://www.academia.edu/7998804/Slash_and_burn_effect_on_soil_quality_of_an_Alfisol_Soil_physical_properties.
72. **NEIHL, Chr, PATTERSON, W.A. y CRARY, D.W.** Responses of soil carbon, nitrogen and cations to the frequency and seasonality of prescribed burning in a Cape Cod oak pine forest. *Forest Ecology and Management*. [En línea] *Forest Ecology and Management*, 20 de October de 2007. [Citado el: 12 de Diciembre de 2016.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707004240?via%3Dihub>.
73. **KOZLOWSKI, T. y AHLGREN, C.** *Fire and Ecosystems - Physiological Ecology.* New York : Academic Press, 1974. ISBN 10: 0124242553.
74. **HERNÁNDEZ , Danny Alfredo.** *Efecto del fuego sobre algunas características nutrimentales en el suelo de un bosque de pinus patula en Zacualtipán, Hidalgo.* Hidalgo : UAEH Biblioteca Digital, 2007. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10932/Efecto%20del%20fuego%20nutrimentales.pdf?sequence=1>.
75. **JIMENEZ, Patricia.** *Avances en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales.* Alicante : Universidad Miguel Hernández, 2016.

76. **LUJAN, M. y GRACIA, F.** *Geología del PN de los Alcornocales en torno a Alcalá de los Gazules*. Alcalá : s.n., 2016.
77. **ROJAS, J.** A PROPÓSITO DE LO QUE SUCEDE: QUEMA DE PASTIZALES Y BOSQUES. *Semanario Expresión*. 989, 12 de 07 de 2015.
78. **MADRE DE DIOS RADIO.** *Serfor: "Quemas de pastizales no son prácticas ambientalmente correctas ni legalmente aceptadas"*. Madre de Dios : MADRE DE DIOS RADIO, 26 de Septiembre de 2016.
79. **AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS: ANDINA.** Serfor: 3,911 incendios forestales se registraron en Junín en el 2015. [En línea] Agencia Peruana de Noticias ANDINA, 31 de Agosto de 2016. [Citado el: 21 de Abril de 2017.] <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-serfor-3911-incendios-forestales-se-registraron-junin-el-2015-628729.aspx>.
80. **AZNAR, J., BADIA, D. y GONZALES-PEREZ, C.** Variaciones en Profundidad de las Propiedades de un Suelo yesoso forestal bajo quema Controlada. [En línea] FLAMMA, Octubre de 2013. [Citado el: 13 de Abril de 2017.] <http://zaguan.unizar.es/record/9876?ln=es>. ISSN 2171 - 665X.
81. **BERNARDIS, Aldo, FERNANDEZ, Juan y CASCO, José.** Impacto ambiental de la quema prescrita de un pastizal sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo. [En línea] Universidad del Noroeste Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, 2004. [Citado el: 04 de Enero de 2017.] <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/5-Agrarias/A-044.pdf>.
82. **CAMARGO, Juan Carlos, DOSSMAN, Miguel Ángel y RODRIGUEZ, José Alexander.** Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. [En línea] Universidad Nacional de Colombia, 2006. [Citado el: 12 de Enero de 2017.] https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35618. 2323-0118.
83. **CASTELLI, L y LAZZARI, M.** Impact of Fire on Soil Nutrients in Central Semiarid Argentina. *Arid Land Research and Management*. [En línea] 01 de Enero de 2002. [Citado el: 12 de Marzo de 2017.] <http://dx.doi.org/10.1080/15324980290000467>.
84. **FONTÚRBEL, M., y otros.** *Cambios en el carbono orgánico y en propiedades físicas del suelo después de incendios de distinta severidad*. Extremadura : Sociedad Española de ciencias Forestales, 2017.

85. **GONZALES, C, y otros.** Comportamiento de algunas propiedades del suelo en una sabana del Chaco semiárido occidental bajo distintas frecuencias de fuego. [En línea] Ciencia del Suelo, 19 de Febrero de 2001. [Citado el: 21 de Marzo de 2017.] https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Kunst2/publication/242100016_Comportamiento_de_algunas_propiedades_del_suelo_en_una_sabana_del_Chaco_semiarido_occidental_bajo_distintas_frecuencias_de_fuego/links/0046352a06a38b2e0b000000/Comportamiento-de-algu.
86. **GONZALES-PEREZ, J., y otros.** The effect of fire on soil organic matter—a review. [En línea] Elsevier, 2004. [Citado el: 19 de Mayo de 2017.] http://www.fsl.orst.edu/ltep/Biscuit/Biscuit_files/Refs/Gonzales-Perez%20EI2004%20fire.pdf. 0160-4120.
87. **HURTADO, Felix y FARFÁN, Alejandra.** Desarrollando el Mundo Rural. [En línea] 1996. [Citado el: 13 de Marzo de 2017.] <http://www.desarrollandoelmundorural.com/libros/las-quemas-e-incendios-de-formaciones-vegetales-en-la-regi%C3%B3n-inka.html>. ISBN.
88. **MACKENZIE, M, DELUCA, T. y SALA, A.** Forest structure and organic horizon analysis along a fire chronosequence in the low elevation forests of western Montana. [En línea] Volume 203, Forest Ecology and Management, 08 de Diciembre de 2004. [Citado el: 21 de Diciembre de 2016.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704005717?via%3Dihub>.
89. **MALHI, S.S. y KUTCHER, H.R.** . Small grains stubble burning and tillage effects on soil organic C and N, and aggregation in Northeastern Saskatchewan. *Soil & Tillage Research*. [En línea] 2007. [Citado el: 14 de Marzo de 2017.] 94: 353-361..
90. **MATERECHERA, S., MANDIRIGAMA, O. y MBOKODI, P.** Organic matter, pH and nutrient distribution in soil layers of a savanna Thornveld subjected to different burning frequencies at Alice in the Eastern Cape. [En línea] South African Journal of Plant and Soil, 15 de Marzo de 1998. [Citado el: 12 de Marzo de 2017.] <http://dx.doi.org/10.1080/02571862.1998.10635127>.
91. **NEFF, J., HRDEN, J. y GLEIXNER, G.** Fire effects on soil organic matter content, composition, and nutrients in boreal interior Alaska. [En línea] © NRC Canada, 14 de Noviembre de 2005. [Citado el: 19 de Diciembre de 2016.] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.419.9132&rep=rep1&type=pdf>. Vol. 35.

92. **RAISON, R. J.** Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformation. [En línea] Department of Agronomy and Soil Science, University of New England, 1979. [Citado el: 13 de Abril de 2017.] <https://www.jstor.org/stable/42935168?seq=1#>.
93. **SACCHI, Gabriela , CAMPITELLI, Paola y SORIA, Patricia.** Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico. *Spanish Journal of Soil Science, Vol. 5 núm. 3 (2015)*. [En línea] 06 de Noviembre de 2015. [Citado el: 30 de Diciembre de 2016.] <https://sjss.universia.net/article/view/998/influencia-temperaturas-calentamiento-propiedades-fisicas-quimicas-suelos-distinto-material-parental-uso-anthropico>.
94. **TORRES, GUERRA, R.Q. y JUSCAMAITA, J.** Efecto de una quema controlada sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la SAIS Túpac Amaru-Junín, Perú. [En línea] UNALM (Facultad Ciencias-Biología), 2004. [Citado el: 27 de Marzo de 2017.] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34130220..> ISSN 1726-2216.
95. **VARELA, M. E., BENITO, E. y KEIZER, J. J.** Influence of wildfire severity on soil physical degradation in two pine forest stands of NW Spain. [En línea] 133, *Catena*, 04 de Febrero de 2014. [Citado el: 14 de Agosto de 2017.] [file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-EfectosDeLosIncendiosForestalesEnLaErosionabilidad-4847442%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-EfectosDeLosIncendiosForestalesEnLaErosionabilidad-4847442%20(2).pdf).

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLES
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es el efecto de la quema de vegetación en las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo, 2016?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el efecto de la quema de vegetación en las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo.</p>	<p style="text-align: center;">Hipótesis General</p> <p>Hi: La quema de vegetación altera las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo</p> <p>H0: La quema de vegetación no altera las propiedades del suelo, en una zona de pastos del distrito de Huancayo.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Suelo con Quema de vegetación</p>
<p>Problema Específicos</p> <p>a. ¿En qué medida la quema de vegetación afecta las propiedades físicas: textura y densidad aparente, en la zona “Corona del fraile”, respecto a suelos adyacentes</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Determinar las propiedades físicas: textura y densidad aparente del suelo en la zona “Corona del fraile”, afectado por la quema de vegetación de pastos, en</p>	<p>Hipótesis Especificas</p> <p>a) Hi: La quema de vegetación altera las propiedades físicas: textura y densidad aparente, respecto a un suelo que no ha experimentado quema en la zona “Corona del fraile” del distrito de Huancayo.</p>	<p>Independiente</p> <p>Propiedades del suelo</p>

que no han experimentado esa quema, en la zona de Huancayo?

b. ¿En qué medida la quema de vegetación afecta las propiedades químicas: materia orgánica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, pH, respecto a suelos adyacentes que no han experimentado quema, en la zona de Huancayo?

relación a un suelo que no ha experimentado quema en la zona “Corona del Fraile”, del distrito de Huancayo.

b. Determinar las características químicas: pH, CE, materia orgánica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, en un suelo que ha experimentado quema de vegetación, en relación a un suelo que no ha experimentado quema, en la zona “Corona del fraile” en el distrito de Huancayo.

H₀: La quema de vegetación no altera las propiedades físicas: textura y densidad aparente, respecto a un suelo que no ha experimentado quema en la zona “Corona del fraile” del distrito de Huancayo.

b) H_i: La quema de vegetación altera las propiedades químicas del suelo: contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, respecto a un suelo que no ha experimentado quema, en la zona “Corona del fraile”, del distrito de Huancayo

H₀: La quema de vegetación no altera las propiedades químicas del suelo: contenido de materia orgánica, pH, disponibilidad de P y K, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases y acidez cambiante, respecto a un suelo que no ha experimentado quema, en la zona “Corona del fraile”, del distrito de Huancayo.

ANEXO N° 2. Resultado del Análisis de Suelo.



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



ANALISIS DE SUELOS: CARACTERIZACION

Solicitante : JORGE ALFIERI CÁCERES LÓPEZ
 Departamento : JUNÍN Provincia: HUANCAYO
 Distrito : HUANCAYO Predio:
 Referencia : H.R. 56548-165C-16 Bolt.: 13708 Fecha: 14/11/16

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
14691	5 cm. No Quemado-01	5.56	0.10	0.00	8.19	1.9	170	57	29	14	Fr.A.	16.80	7.08	1.63	0.44	0.10	0.10	9.34	9.24	55
14692	5 cm. Quemado-02	5.30	0.19	0.00	10.70	3.2	151	59	29	12	Fr.A.	16.00	5.90	0.97	0.30	0.06	0.20	7.42	7.22	45
14693	5 cm. Quemado-03	5.50	0.18	0.00	11.54	4.0	224	57	31	12	Fr.A.	19.20	8.17	2.32	0.47	0.08	0.10	11.13	11.03	57
14694	5 cm. Quemado-04	5.55	0.12	0.00	6.04	3.1	152	51	35	14	Fr.	15.68	6.41	2.78	0.37	0.10	0.10	9.76	9.66	62
14695	5 cm. No Quemado-05	5.54	0.18	0.00	5.46	2.8	101	47	37	16	Fr.	12.80	4.98	1.28	0.25	0.14	0.20	6.85	6.65	52
14696	10 cm. No Quemado-01	5.47	0.06	0.00	5.26	3.7	100	55	33	12	Fr.A.	12.48	4.86	1.45	0.28	0.10	0.20	6.90	6.70	54
14697	10 cm. Quemado-02	5.39	0.16	0.00	14.43	4.2	224	69	21	10	Fr.A.	19.20	5.61	1.08	0.50	0.09	0.30	7.58	7.28	38
14698	10 cm. Quemado-03	5.36	0.16	0.00	6.69	2.8	106	57	29	14	Fr.A.	16.00	6.57	2.23	0.26	0.12	0.20	9.39	9.19	57
14699	10 cm. Quemado-04	5.73	0.08	0.00	5.23	2.0	105	47	33	20	Fr.	15.20	6.07	2.93	0.29	0.24	0.10	9.64	9.54	63
14700	10 cm. No Quemado-05	5.45	0.14	0.00	4.73	1.5	74	49	39	12	Fr.	11.52	3.94	1.07	0.19	0.12	0.10	5.42	5.32	46

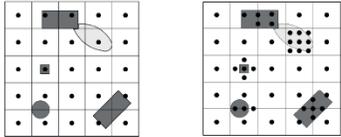
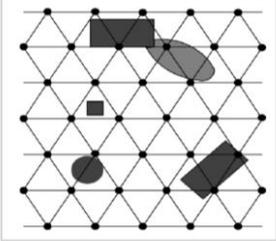
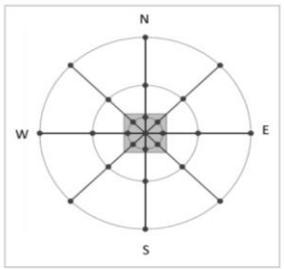
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

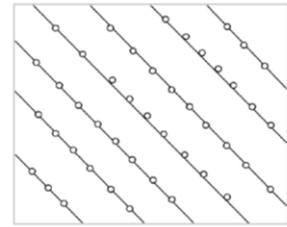
ANEXO N° 3: Acreditación del Laboratorio de la Universidad Agraria La Molina por el INACAL

		<h2 style="text-align: center;">DIRECTORIO DE LABORATORIOS ACREDITADOS</h2>					
<p>La Dirección de Acreditación del INACAL, en ejercicio de sus facultades que le confieren la Ley N° 30224 y el Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, ha reconocido la competencia técnica de los laboratorios indicados a continuación, previa evaluación del cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento General de Acreditación y en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 "Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración", acreditándolos mediante Cédula de Notificación, facultándolos a emitir, en el caso de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laboratorios de Ensayo : Informes de Ensayo con Valor Oficial - Laboratorios de Calibración: Certificados de Calibración con Valor Oficial <p>Y a utilizar el Símbolo de Acreditación, en un determinado alcance el cual se encuentra a disposición del usuario en nuestra página Web: http://www.inacal.gob.pe, en la siguiente ruta: "Acreditación / Directorio de Organismos de Evaluación"</p>							
N°	Empresa	Dirección	N° Cédula de Notificación	Periodo de Vigencia	Registro N°	Teléfono	E-mail/ Web
42	INTERNATIONAL LABORATORIES S.A.C. - INTERLABS S.A.C. <i>(Ver Alcance Otorgado)</i>	Mz. C. lote 1 Cooperativa Vivienda Guadalupe - Los Olivos - Lima	208.2015/SNA-INDECOPI	2015-04-28 al 2019-04-28	LE - 069	533 1503 971237369 985239545 RPM *300447	interlabs@interlabs.com.pe cesar.aquino@interlabs.com.pe www.interlabs.com.pe
43	INTERTEK TESTING SERVICES PERÚ S.A. <i>(Ver Alcance Otorgado)</i>	Jr. Mariscal José de La Mar, Nro. 200, Urb. Industrial Residencial El Pino, San Luis - Lima	0083-2014/SNA-INDECOPI	2013-10-02 al 2017-10-02 (Vigencia Extendida)	LE - 016	3990940	http://www.intertek.com.pe/
44	J. RAMÓN DEL PERÚ S.A.C. <i>(Ver Alcance Otorgado)</i>	Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcelas 3-4, Lurín - Lima	0286.2014/SNA-INDECOPI	2014-02-07 al 2018-02-07	LE - 028	513-3399	Guillermo.isola@jramoncorp.com flor.mallma@jramoncorp.com
45	LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA <i>(Ver Alcance Otorgado)</i>	Av. La Molina (Ex. Av. Universidad) N° 595, La Molina - Lima	0274.2014/SNA-INDECOPI	2014-02-03 al 2018-02-03	LE - 010	349 2507 349 5640 349 1066 349 2191	calitot@infonegocio.net.pe
46	LABECO ANALISIS AMBIENTALES S.R.L. <i>(Ver Alcance Otorgado)</i>	Av. Víctor Alzamora N°348 - Surquillo - Lima	443.2016-INACAL/DA	2016-09-23 al 2020-09-23	LE - 034	444 8987	labeco@labecoperu.com

ANEXO 4. Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados (Ministerio del Ambiente, 2014)

PATRONES DE MUESTREO PARA DEFINIR LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN SUELOS CONTAMINADOS	
<p>Muestreo dirigido o a juicio de expertos</p> <p>Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.</p>	
<p>Muestreo estadístico</p> <p>Muestreo realizado de acuerdo modelos matemáticos, y se usa para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia y distribución de contaminantes en el suelo.</p>	
<p>Rejillas triangulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones.</p>	
<p>Rejilla circular. Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera.</p>	

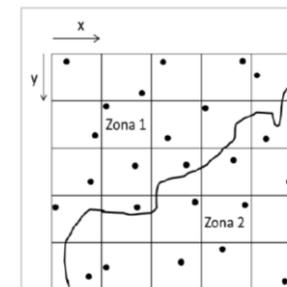
Diagonales múltiples. En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos.



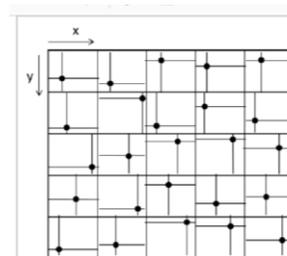
Aleatorio. Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio.



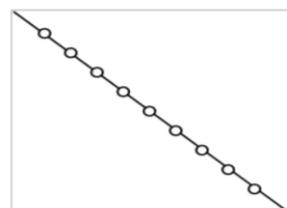
Aleatorio sobre rejilla regular. Este es un patrón empleado en métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios o con programas de cómputo; el plano se divide en zonas.



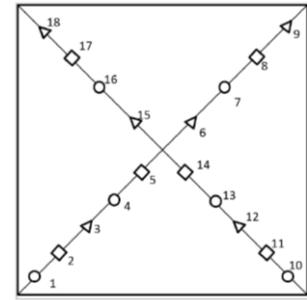
Aleatorio desalineado sobre rejilla regular. Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y", o viceversa.



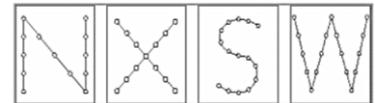
Diagonal simple. Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



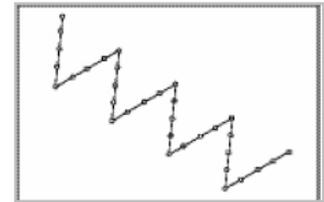
Diagonales cruzadas rotantes. Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo, aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural.



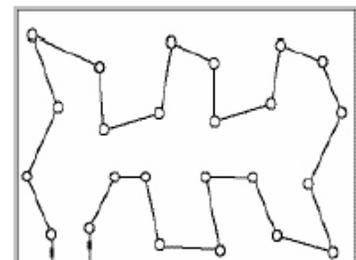
Muestreo irregular en forma de N, S, X o W. En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.



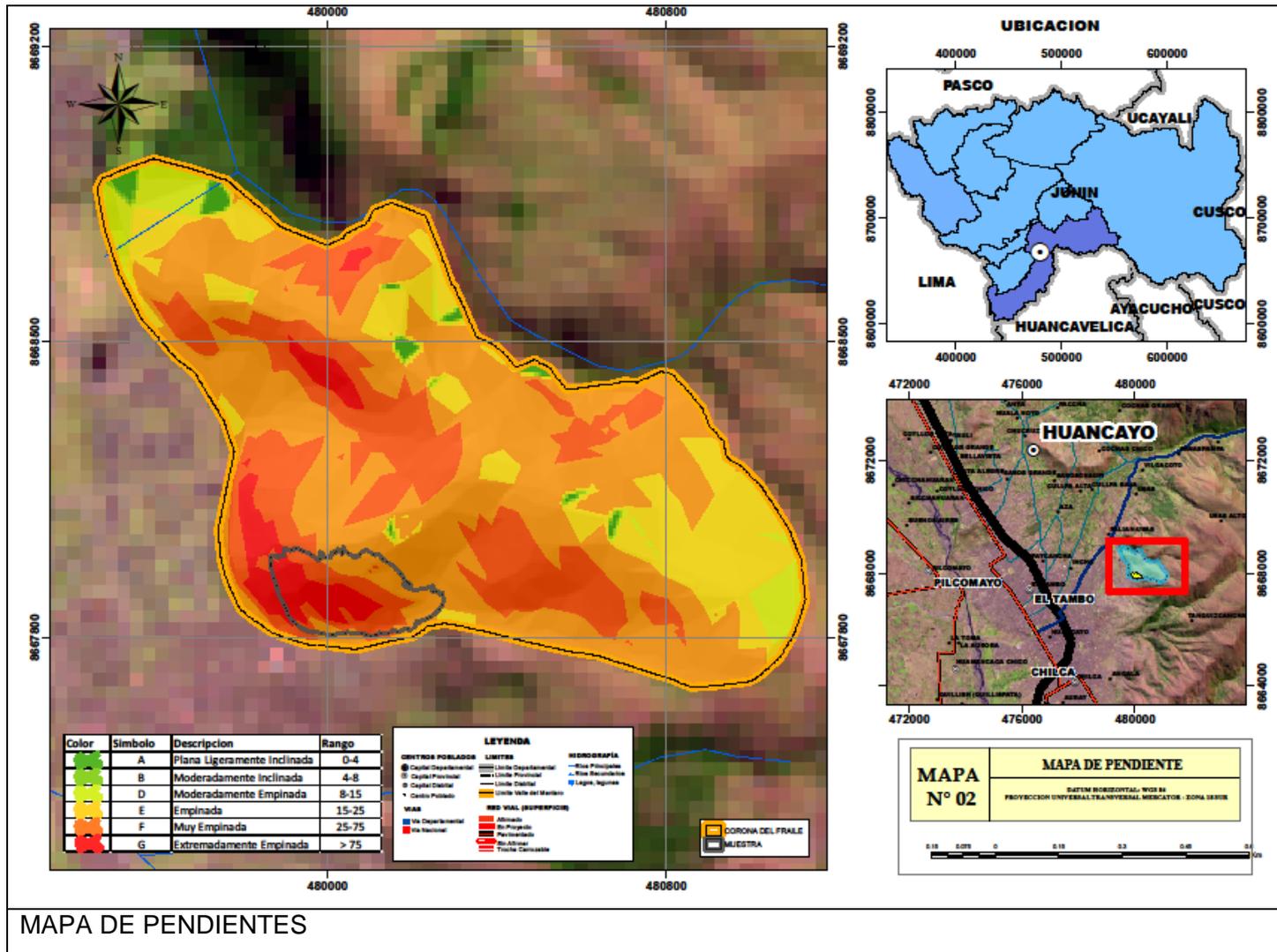
Zig-zag. Sobre el plano, se dibuja una línea en zig-zag, y sobre ésta se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Al igual que en el caso anterior, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

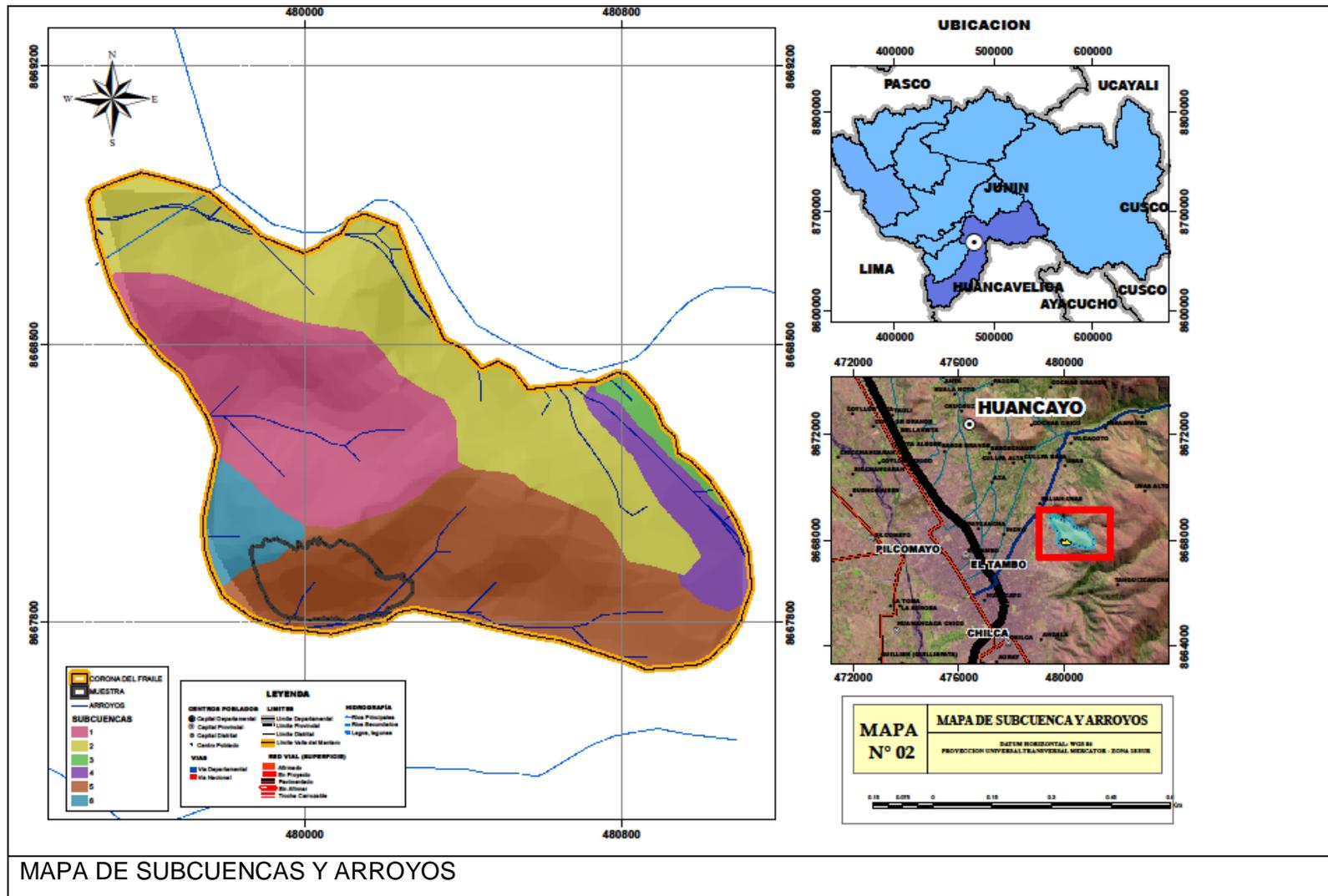


Zig-zag transverso. Sobre el plano se marca una línea en zig-zag irregular tratando de que cubra toda la superficie de estudio, y sobre ésta, se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes.

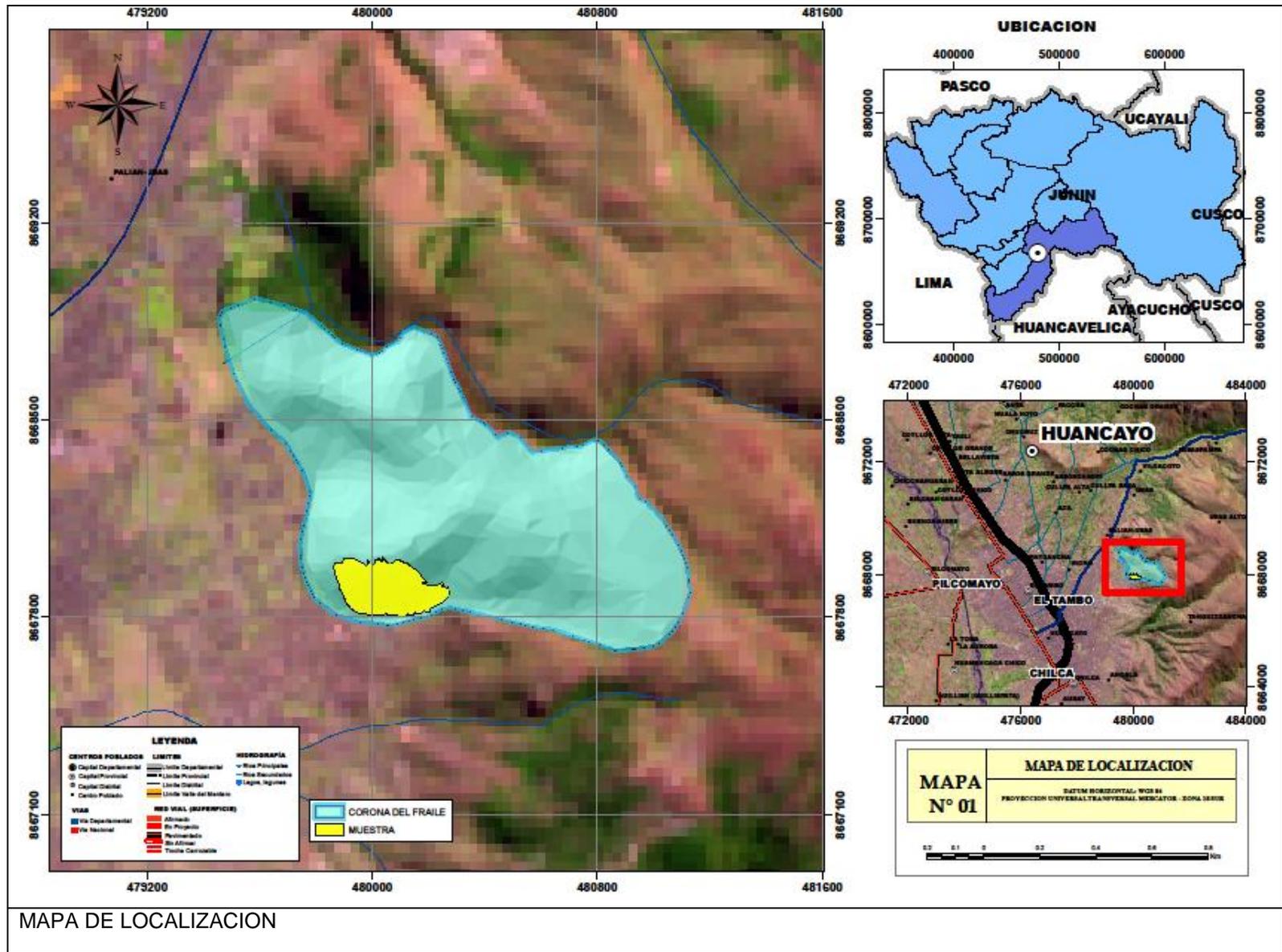


ANEXO 5. Mapas de Localización





MAPA DE SUBCUENCAS Y ARROYOS



MAPA DE LOCALIZACION

ANEXO 6. Resultados del análisis de variancia

Tabla 1. Análisis de variancia del contenido de arena de los suelos que han experimentado quema. “Corona del Fraile”, Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	52,267	52,267	1,115	0,332
Profundidad	1	21,600	21,600	0,461	0,523
Quema * Profundidad	1	60,000	60,000	1,280	0,301
Error	6	281,333	46,889		
Total	9	403,600			

Tabla 2. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Contenido de Arena. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	Arena (%)	Significación
01	Con quema	56,667	a
02	Sin quema	52,000	a

Tabla 3. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Porcentaje de arena. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	Arena (%)	Significación
01	0 - 10	55,883	a
02	0 - 05	52,833	a

Tabla 4. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Porcentaje de arena. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	Arena (%)	Significación
01	Quema x (5-10 cm)	57,667	a
02	Sin Quema x (0-5 cm)	56,000	a
03	Quema x (0-5 cm)	55,667	a
04	Sin Quema x (5-10 cm)	48,000	a

Tabla 5. Análisis de variancia del contenido de Limo de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	56,067	56,067	3,255	0,121
Profundidad	1	5,400	5,400	0,314	0,596
Quema * Profundidad	1	72,600	72,600	4,215	0,086
Error	6	103,333	17,222		
Total	9	232,400			

Tabla 6. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Contenido de Limo. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	Limo (%)	Significación
01	Sin quema	34,500	a
02	Con quema	29,667	a

Tabla 7. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Porcentaje de Limo. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	Limo (%)	Significación
01	5-10	32,833	a
02	0 - 5	31,833	a

Tabla 8. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Porcentaje de Limo. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	Limo (%)	Significación
01	Sin quema x (5-10 cm)	38,000	a
02	Quema x (0-5 cm)	31,667	a b
03	Sin Quema x (0-5 cm)	31,000	a b
04	Quema x (5-10 cm)	27,667	b

Tabla 9. Análisis de variancia del contenido de Arcilla de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,067	0,067	0,006	0,939
Profundidad	1	5,400	5,400	0,512	0,501
Quema * Profundidad	1	0,600	0,600	0,057	0,820
Error	6	63,333	10,556		
Total	9	70,400			

Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Contenido de Arcilla. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	Arcilla (%)	Significación
01	Quema	13,667	a
02	Sin quema	13,500	a

Tabla 11. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Porcentaje de Arcilla. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Significación
01	0 – 10	14,333	a
02	0 - 5	12,833	a

Tabla 12. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Porcentaje de Arcilla. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	Arcilla (%)	Significación
01	quema x (5-10 cm)	14,667	a
02	Sin Quema x (5-10 cm)	14,000	a
03	Sin Quema x (0-5 cm)	13,000	a
04	Quema x (0-.5 cm)	12,667	a

Tabla 13. Análisis de variancia de la densidad aparente de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,0220	0,0220	56,2306	0,0003
Profundidad	1	0,0056	0,0056	14,3776	0,0091
Quema * Profundidad	1	0,0131	0,0131	33,5104	0,0012
Error	6	0,0023	0,0004		
Total	9	0,0474			

Tabla 14. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Densidad Aparente. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	DA (<i>Mg/m3</i>)	Significación
01	Quemado	0,6605	a
02	Sin quema	0,5648	b

Tabla 15. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Densidad Aparente. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	DA (<i>Mg/m3</i>)	Significación
01	0 – 5	0,6368	a
02	0 - 10	0,5884	b

Tabla 16. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Densidad aparente. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	DA (Mg/m ³)	Significación
01	quemado x (0-5 cm)	0,7217	a
02	quemado x (5-10 cm)	0,5993	b
03	Sin Quema x (5-10 cm)	0,5775	b c
04	Sin Quema x (0-.5 cm)	0,5520	c

Tabla 17. Análisis de variancia del pH de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,0027	0,0027	0.1254	0,7353
Profundidad	1	0,0003	0,0003	0,0154	0,9054
Quema * Profundidad	1	0,0024	0,0024	0,1132	0,7480
Error	6	0,1276	0,0213		
Total	9	0,1335			

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. pH. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	pH	Significación
01	Sin quema	5,505	a
02	Quema	5,472	a

Tabla 19. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. pH. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	pH	Significación
01	5-10	5,494	a
02	0-5	5,482	a

Tabla 20. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. pH. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	pH	Significación
01	No quemado x (0-5 cm)	5,515	a
02	No quemado x (5-10 cm)	5,495	a
03	Quemado (5-10 cm)	5,493	a
04	Quemado x (0-5 cm)	5,450	a

Tabla 21. Análisis de variancia de la CE de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,002	0,002	1,324	0,294
Profundidad	1	0,002	0,002	1,031	0,349
Quema * Profundidad	1	0,007	0,007	4,988	0,067
Error	6	0,009	0,001		
Total	9	0,018			

Tabla 22. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. CE. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	CE (<i>dS/m</i>)	Significación
01	Quemado	0,148	a
02	Sin quema	0,120	a

Tabla 23. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. CE. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	CE (<i>dS/m</i>)	Significación
01	5-10	0,147	a
02	0-5	0,122	a

Tabla 24. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. CE. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	CE (dS/m)	Significación
01	Quemado x (0-5 cm)	0,163	a
02	Sin quemado x (5-10 cm)	0,160	a
03	Quemado x (5-10 cm)	0,133	a
04	Sin quema x (0-5 cm)	0,080	a

Tabla 25. Análisis de variancia de la MO de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	24,499	24,499	2,070	0,2003
Profundidad	1	3,101	3,101	0,262	0,6270
Quema * Profundidad	1	0,584	0,584	0,049	0,8316
Error	6	71,009	11,835		
Total	9	98,786			

Tabla 26. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. MO. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	MO (%)	Significación
01	Quemado	9,105	a
02	Sin quema	5,910	a

Tabla 27. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. MO. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	MO (%)	Significación
01	0-5	8,076	a
02	5-10	6,939	a

Tabla 28. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Materia orgánica. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	MO (%)	Significación
01	Quema x (0-5 cm)	9,427	a
02	Quema x (5-10 cm)	8,783	a
03	Sin quema x (0-5 cm)	6,725	a
04	Sin quema x (5-10 cm)	5,095	a

Tabla 29. Análisis de variancia del fósforo disponible de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	1,320	1,320	1,458	0,2756
Profundidad	1	0,704	0,704	0,778	0,4117
Quema * Profundidad	1	0,028	0,028	0,031	0,8658
Error	6	5,432	0,905		
Total	9	7,456			

Tabla 30. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Fósforo disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	P (ppm)	Significación
01	Quemado	3,217	a
02	Sin quema	2,475	a

Tabla 31. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Fósforo disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	P (ppm)	Significación
01	0-5	3,117	a
02	5-10	2,575	a

Tabla 32. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Fósforo disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	P (ppm)	Significación
01	Quema x (0-5 cm)	3,433	a
02	Quema x (5-10 cm)	3,000	a
03	Sin quema x (0-5 cm)	2,800	a
04	Sin quema x (5-10 cm)	2,150	a

Tabla 33 Análisis de variancia del potasio disponible de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	5782,017	5782,017	2,212	0,1875
Profundidad	1	3666,017	3666,017	1,403	0,2811
Quema * Profundidad	1	170,017	170,017	0,065	0,8072
Error	6	15 681,167	2613,528		
Total	9	25 130,100			

Tabla 34. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Potasio disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	K (ppm)	Significación
01	Quemado	160,333	a
02	Sin quema	111,250	a

Tabla 35. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Potasio disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	K (ppm)	Significación
01	0-5	155,333	a
02	5-10	116,250	a

Tabla 36. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Fósforo disponible. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	K (ppm)	Significación
01	Quema x (0-5 cm)	176,667	a
02	Quema x (5-10 cm)	145,000	a
03	Sin quema x (0-5 cm)	135,000	a
04	Sin quema x (5-10 cm)	87,500	a

Tabla 37. Análisis de variancia de la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	9,850	9,850	4,356	0,0819
Profundidad	1	3,907	3,907	1,728	0,2367
Quema * Profundidad	1	1,207	1,207	0,534	0,4925
Error	6	13,566	2,261		
Total	9	27,837			

Tabla 38. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Capacidad de Intercambio Catiónico. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	CIC (cmol/kg)	Significación
01	Quemado	9,153	a
02	Sin quema	7,128	a

Tabla 39. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Capacidad de Intercambio Catiónico. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	CIC (cmol/kg)	Significación
01	0-5	8,778	a
02	5-10	7,503	a

Tabla 40. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Capacidad de Intercambio Catiónico. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	CIC (cmol/kg)	Significación
01	Quema x (0-5 cm)	9,437	a
02	Quema x (5-10 cm)	8,870	a
03	Sin quema x (0-5 cm)	8,120	a
04	Sin quema x (5-10 cm)	6,135	a

Tabla 41. Análisis de variancia de la Saturación de bases de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,123	0,123	0,086	0,7793
Profundidad	1	0,912	0,912	0,636	0,4557
Quema * Profundidad	1	0,115	0,115	0,080	0,7862
Error	6	8,607	1,435		
Total	9	9,936			

Tabla 42. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Saturación de bases. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	SB (%)	Significación
01	Quemado	98,043	a
02	Sin quema	97,817	a

Tabla 43. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Saturación de bases. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	SB (%)	Significación
01	0-5	98,238	a
02	5-10	97,622	a

Tabla 44. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Saturación de Bases. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	SB (%)	Significación
01	Quema x (0-5 cm)	98,461	a
02	Sin quema x (0-5 cm)	98,015	a
03	quema x (5-10 cm)	97,625	a
04	Sin quema x (5-10 cm)	97,618	a

Tabla 45. Análisis de variancia de la Acidez Intercambiable de los suelos que han experimentado quema. Huancayo.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Quema	1	0,123	0,123	0,086	0,7793
Profundidad	1	0,912	0,912	0,636	0,4557
Quema * Profundidad	1	0,115	0,115	0,080	0,7862
Error	6	8,607	1,435		
Total	9	9,936			

Tabla 46. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la quema. Acidez Intercambiable. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema	AI (%)	Significación
01	Sin quema	2,184	a
02	Quemado	1,957	a

Tabla 47. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de la profundidad. Acidez Intercambiable. Huancayo.

Orden de Mérito	Profundidad (cm)	AI (%)	Significación
01	0-10	2,378	a
02	0-5	1,762	a

Tabla 48. Prueba de comparación múltiple de Duncan para efecto de quema x profundidad. Acidez Intercambiable. Huancayo.

Orden de Mérito	Quema x Profundidad	AI (%)	Significación
01	Sin quema x (5-10 cm)	2,382	a
02	Quemado x (5-10 cm)	2,375	a
03	Sin quema x (0-5 cm)	1,985	a
04	Quemado x (0-5 cm)	1,539	a

ANEXO 7. Recolección de muestras en “Corona del Fraile”



Fotografía 1. Zona afectada por el fuego. Huancayo: “Corona del Fraile”



Fotografía 2. Zona afectada por el fuego. Huancayo: "Corona del Fraile"



Fotografía 3. Zona no afectada por el fuego. Huancayo: "Corona del Fraile"



Fotografía 4. Muestreo del suelo según profundidad. Huancayo: “Corona del Fraile”.



Fotografía 6. Muestreo del suelo según profundidad. Huancayo: “Corona del Fraile”.



Fotografía 7. Extracción de muestra de suelo con quema. Huancayo: “Corona del Fraile”.



Fotografía 8. Muestreo del suelo. Huancayo: "Corona del Fraile".

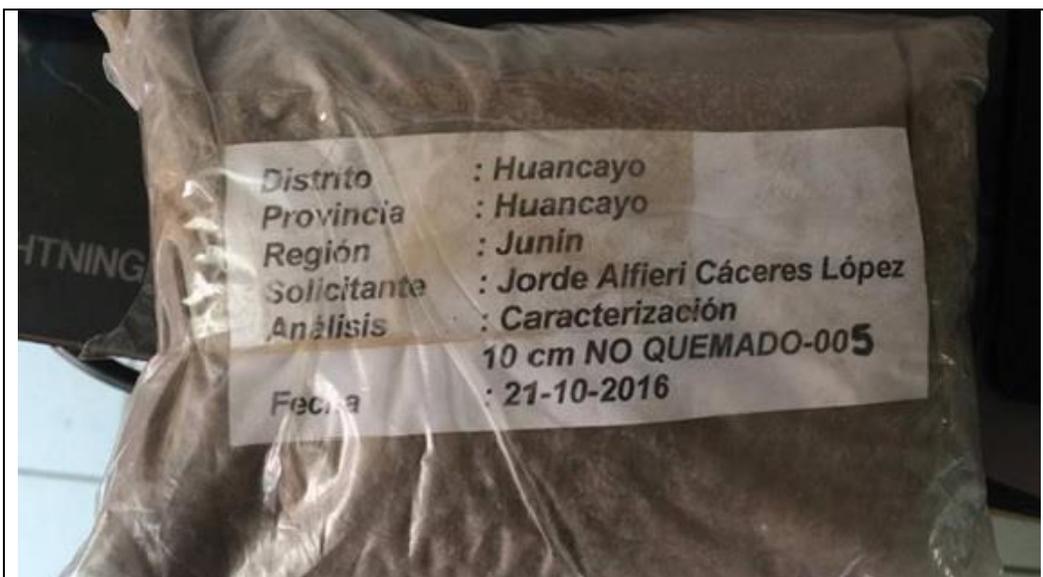


Fotografía 9. Georreferenciación con el uso de GPS. Huancayo: “Corona del Fraile”.



Fotografía 10. Georreferenciación de recorrido del área afectada por la quema, con el uso de GPS. Huancayo: “Corona del Fraile”.

ANEXO 8 Etiquetado y Rotulado de las muestras



Fotografía N° 10. Etiquetado y Rotulado de las muestras para su envío al laboratorio.