

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

**EFFECTO DEL INCENDIO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CENTRO POBLADO
EL LIRIO, DISTRITO DE CHALAMARCA- CHOTA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADA POR:

Bach. Lenin Ulises Vásquez Campos

ASESOR:

Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia

CAJAMARCA – PERÚ

2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA "NORTE
DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"**

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Av. Atahualpa 1050



CONSTANCIA

El que suscribe, Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, asesor de la tesis denominada **"EFECTO DEL INCENDIO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CENTRO POBLADO EL LIRIO, DISTRITO DE CHALAMARCA – CHOTA"**. Elaborada por el bachiller **Lenin Ulises Vásquez campos**, de la escuela profesional de agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, hace constar:

Que, la tesis antes mencionada ha sido analizada mediante el software antiplagio Turnitin obteniéndose un resultado de 25 % de similitud general.

Se expide el presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 07 de marzo del 2024.

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


En la ciudad de Cajamarca, a los diez días del mes de octubre del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente 2C - 202 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 83-2020-FCA-UNC, de fecha 27 de febrero del 2020**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "EFECTO DEL INCENDIO DE LA PLANTACIÓN FORESTAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CENTRO POBLADO EL LIRIO, DISTRITO DE CHALAMARCA - CHOTA", realizada por el Bachiller **LENIN ULISES VÁSQUEZ CAMPOS** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce horas y cincuenta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Ing. M. Sc. Attilio Israel Cadenillas Martínez
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
SECRETARIO


Ing. M. Sc. Luis Dávila Estela
VOCAL


Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Belermino y Luz. A mi abuelita Aurora y a mis hermanos Wilman, Heberth, Silvia, Luis, Aldair y Hugo porque fueron un pilar fundamental en esta etapa de mi formación como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme acompañado y guiado en este camino de aprendizaje a lo largo de mi formación profesional.

Al Dr. Edín Edgardo Alva Plasencia por su asesoría, amistad, tiempo, orientación y por compartir sus conocimientos en la elaboración de este trabajo de investigación.

A los miembros del Jurado quienes con sus revisiones y sugerencias han contribuido en la mejora de la redacción de la presente Tesis.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Agronomía, por abrirme las puertas y brindarme una formación académica acorde a las exigencias de la profesión.

A mis maestros y compañeros de la escuela Académico Profesional de Agronomía que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Incendio forestal	10
2.2.2 Tipos de incendios forestales.....	10
2.2.2.1 Según el estrato que se quema.....	10
2.2.2.2 Según la intensidad.....	11
2.2.2.3 Según la velocidad de propagación del fuego	12
2.2.3 Efectos generales de los incendios sobre el ecosistema	12
2.2.4 Efectos de los incendios sobre la vegetación.....	13
2.2.5 Efectos del incendio forestal sobre la fauna	14
2.2.6 Efectos de los incendios forestales sobre el ecosistema edáfico	15
2.2.6.1 Calidad física.....	17
2.2.6.2 Calidad química.....	17
2.2.7 Efecto de los incendios forestales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.	18
2.2.7.1 Propiedades físicas del suelo.....	18
2.2.7.2 Propiedades químicas del suelo.....	21
2.3 Definición de términos básicos	24
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación	28
3.1.1 Vías de acceso	28
3.1.2 Fisiografía.....	30
3.1.3 Clima	30
3.1.4 Vegetación	30
3.2 Materiales.....	31

3.3	Metodología	31
3.3.1	Trabajo de campo	31
3.3.2	Trabajo de laboratorio	32
3.3.3	Trabajo de gabinete	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
4.1	Análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo del área afectada y del área no afectada.....	34
4.1.1	Color	34
4.1.2	Estructura.....	36
4.1.3	Densidad aparente.....	36
4.1.4	Arena	37
4.1.5	Limo.....	37
4.1.6	Arcilla	38
4.1.7	Clasificación textural	38
4.1.8	pH	39
4.1.9	Aluminio cambiante	40
4.1.10	Conductividad eléctrica	41
4.1.11	Materia orgánica	43
4.1.12	Nitrógeno total.....	44
4.1.13	Fósforo disponible	45
4.1.14	Potasio disponible (K)	46
4.1.15	Capacidad de intercambio catiónico.....	48
4.1.16	Calcio cambiante	49
4.1.17	Magnesio cambiante	50
4.1.18	Potasio cambiante	51
4.1.19	Sodio cambiante	52
4.1.20	Saturación de bases.....	53
4.1.21	Acidez de cambio	54
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
5.1.	Conclusiones	56
5.2.	Recomendaciones	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		58
ANEXOS		67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Las alteraciones en el suelo según la temperatura	16
Tabla 2. Vías de acceso al área de estudio	28
Tabla 3. Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos Fertiabono	33
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo de ocurrido el incendio .	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	29
Figura 2. Valores de la densidad aparente del área no afectada y del área afectada.....	36
Figura 3. Valores del pH del área no afectada por el incendio y del área afectada.....	39
Figura 4. Contenido del aluminio cambiante (Al^{+3}) del área no afectada y del área afectada	41
Figura 5. Valores de la conductividad eléctrica del área no afectada y del área afectada	42
Figura 6. Contenido de materia orgánica del área no afectada y del área afectada.....	43
Figura 7. Contenido de nitrógeno del área no afectada y del área afectada.....	44
Figura 8. Concentración del fósforo disponible del área no afectada y del área afectada	45
Figura 9. Contenido de potasio del área no afectada y del área afectada.....	47
Figura 10. Valores de la capacidad de intercambio catiónico del área no afectada y del área afectada	48
Figura 11. Valores del calcio cambiante del área no afectada y del área afectada	49
Figura 12. Contenido de magnesio cambiante del área no afectada y del área afectada.....	50
Figura 13. Contenido de potasio cambiante del área no afectada y del área afectada	51
Figura 14. Comparación del sodio cambiante del área no afectada y del área afectada	52
Figura 15. Valores de la saturación de bases del área no afectada y del área afectada.....	53
Figura 16. Contenido de la acidez de cambio del área no afectada y del área afectada.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento para determinar la densidad aparente	67
Anexo 2. Resultados del análisis de suelos.....	68
Anexo 3. Panel fotográfico	75

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el centro poblado El Lirio, distrito de Chalamarca-Chota, con el objetivo de determinar los efectos que produce el incendio forestal sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Las variables en estudio fueron color, estructura, textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico del área no afectada y del área afectada por el incendio forestal. Según los resultados, el color cambió de 10 YR 4/4 amarillento oscuro a 10 YR 3/3 marrón oscuro, la estructura y la textura no mostraron cambios y la densidad aparente se incrementó en un 0.06 g cm^{-3} . Las propiedades químicas que sufrieron un incremento luego de ser afectadas por el fuego fueron: la conductividad eléctrica en 63 $\mu\text{mhos/cm}$, la materia orgánica en 0,02 %, el nitrógeno en 0.01 % y la capacidad de intercambio catiónico en 0.03 meq/100 g. Las propiedades químicas que sufrieron un descenso son: el pH en 1.07 unidades, el fósforo en 1,26 ppm y el potasio en 45.31 ppm.

Palabras clave: incendio forestal, propiedades físicas y propiedades químicas del suelo.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the El Lirio town center, Chalamarca-Chota district, with the objective of determining the effects produced by the forest fire on the physical and chemical properties of the soil. The variables under study were color, structure, texture, bulk density, pH, electrical conductivity, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, and cation exchange capacity of the unaffected area and the area affected by the forest fire. According to the results, the color changed from 10 YR 4/4 dark yellowish to 10 YR 3/3 dark brown, the structure and texture showed no change, and the bulk density increased by 0.06 g cm⁻³. The chemical properties that suffered an increase after being affected by the fire were: electrical conductivity at 63 umhs/cm, organic matter at 0.02%, nitrogen at 0.01% and cation exchange capacity at 0.03 meq/100 g. The chemical properties that suffered a decrease are: pH at 1.07 units, phosphorus at 1.26 ppm and potassium at 45.31 ppm.

Keywords: forest fire, physical properties and chemical properties of the soil.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial los incendios forestales tienden al incremento de su frecuencia y severidad como se ha pronosticado a consecuencia del cambio de uso del suelo que se viene presentando alrededor del mundo. (Manta, 2007)

La sierra del Perú presenta condiciones meteorológicas que favorecen la ocurrencia de incendios forestales y existe una creciente superficie afectada por los incendios forestales que no poseen un programa de prevención y de extinción adecuado. (Leon, 2004)

Los incendios forestales en el Perú se han convertido en un problema ambiental de gran relevancia y gravedad en las últimas décadas. La ocurrencia de los incendios forestales en el periodo 2012-2016 ha afectado 93 365,8 hectáreas de cobertura natural, asimismo se ha perdido 5540,80 hectáreas de cultivo agrícola, según data recogida. (INDECI, 2016)

En solo un año el Perú puede registrar más de 800 incendios forestales, su impacto no solo afecta en la pérdida de la biodiversidad, sino también en problemas de salud para la población y aumento de las emisiones de dióxido de carbono. Los incendios forestales son una de las principales causas que generan el cambio climático. (SERFOR, 2021)

El suelo es un componente básico del ecosistema forestal que sufre cambios directos producidos por el calentamiento, en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, además sufre cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación micro climática después de la pérdida de la cubierta vegetal, así como una mayor susceptibilidad a la erosión, tanto hídrica como eólica. Estas alteraciones pueden retrasar el crecimiento de una nueva cubierta vegetal,

lo que expone al suelo durante más tiempo a los agentes erosivos. Los cambios producidos suelen ser más graves cuanto más intenso ha sido el incendio con respecto al suelo. El calor consume parte de la materia orgánica y puede alterar la estabilidad de los agregados. (Correa, 2021)

Los suelos descubiertos tras un incendio son frecuentemente ennegrecidos por la combustión incompleta que se presenta, lo que ocasiona que el poder de reflexión sea muy inferior al de una superficie cubierta de vegetación. Se incrementa la temperatura y la evaporación, al mismo tiempo que disminuyen la absorción y retención de agua, la porosidad, la aireación y la capacidad de infiltración. En un balance global, salvo excepciones, normalmente se suele producir una reducción de la disponibilidad de agua en el suelo y un aumento de la escorrentía superficial lo que genera mayor erosión. (Solera, 1999)

Es necesario indicar, que los incendios forestales generan pérdidas graves y cuantiosas, las consecuencias son muy negativas sobre los recursos naturales, debido a que destruyen la vegetación, matan la fauna silvestre, eliminan la vida en el suelo, contaminan las aguas y finalmente dañan el aire atmosférico. (SERFOR, 2015)

El suelo es un recurso natural por lo que protegerlo y conservarlo es fundamental, ya que tras la quema de vegetación sufre cambios en sus propiedades físicas y químicas, que, junto con la pérdida temporal de la capa vegetal, lo convierten en un sistema frágil, vulnerable a la erosión y a la degradación. La presente investigación nos da a conocer los impactos que genera un incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en la plantación forestal ubicada en el centro poblado El Lirio. Cuyos resultados servirán de base para desarrollar programas y proyectos enfocados en la recuperación de este vital recurso.

Los objetivos del presente estudio consisten en:

Determinar el efecto que produce el incendio de la plantación forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en el centro poblado El Lirio, distrito de Chalamarca-Chota

Determinar las propiedades físicas del suelo: color, estructura, textura y densidad aparente, del área no afectada por el incendio forestal en el centro poblado El Lirio.

Determinar las propiedades físicas del suelo: color, estructura, textura y densidad aparente del área afectada después de 1, 10, 30, 60, 90 y 120 días de producido el incendio forestal.

Determinar las propiedades químicas: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico del suelo del área no afectada por el incendio forestal.

Determinar las propiedades químicas: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico del suelo del área afectada después de 1, 10, 30, 60, 90 y 120 días de producido el incendio forestal.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación

Úbeda (2001) desarrollo un trabajo de la influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal; con el objetivo de determinar los cambios que experimentan algunos parámetros del suelo tras un incendio forestal y cómo influye en estos cambios una mayor o menor intensidad de fuego. Para ello se distinguieron tres zonas mediante la observación del estado de los árboles y de las cantidades de ramas y hojas que permanecían en los árboles, así como la cantidad de hojarasca que había depositada en la superficie del suelo y la cantidad y color de las cenizas, zonas de baja, mediana y alta intensidad de fuego. El resultado que obtuvo es que la cantidad de arena disminuye (- 9,92% en la zona de baja intensidad, -17,17% en la zona de media intensidad y -5,23% en la zona de alta intensidad de fuego), la proporción de limos aumenta en las tres zonas (8,62%, 16,62% y 5,52%), la fracción arcilla aumenta (1,3% en la zona de baja intensidad y 0,54% en la zona de media intensidad) y disminuye en la zona más intensamente quemada (- 0,29%). El carbono aumenta (4,1% en la zona de baja intensidad y 5,1% en la zona de media intensidad) y una leve disminución en la zona más intensamente quemada (-2,16%). El nitrógeno desciende en concentración en todas las zonas incendiadas (-1,04, - 0,41 y -1,03%). El calcio disminuye en la zona de baja intensidad de fuego (-340 ppm) y, por el contrario, aumenta en la zona de media intensidad (500 ppm), en la zona de alta intensidad la variación es menos acusada (-26 ppm). El magnesio disminuye en todas las zonas (- 456 ppm, -111 ppm y -395 ppm). El potasio se incrementa en todas las zonas (103, 188 y 145 ppm). El fósforo disminuye en todas las zonas (-1,53, - 2,03 y -2,17 ppm). El pH del suelo aumentó de valores inferiores a 7 a valores de 8 en las tres zonas después del incendio.

Camargo et al. (2012) llevaron a cabo un trabajo de cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia; con el objetivo de contribuir a orientar la forma más adecuada de promover estrategias de restauración ecológica posteriores a un incendio en ecosistema de páramo; para ello se hizo un muestreo sistemático en dos etapas. En la primera se seleccionaron unidades primarias, las cuales correspondieron a áreas afectadas y no afectadas por el incendio. Dentro de cada unidad primaria se definieron unidades secundarias de acuerdo con las geoformas predominantes: valle estrecho y ladera. Luego, dentro de cada una de estas últimas se definieron tres parcelas de muestreo de 10 m x 10 m. En total se seleccionaron 18 parcelas para evaluación con muestreos de suelo que se realizaron en 2006 dos semanas después del incendio, y en 2008 y 2009. Los resultados obtenidos muestran que la quema en la zona del Parque Nacional Natural de Los Nevados fue considerablemente negativa, evidenciando cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, convirtiéndolo al suelo en un sistema frágil y más susceptible a la erosión. El efecto más grave fue la pérdida de materia orgánica, esta pérdida afectó a otras propiedades como la porosidad, la densidad aparente, la conductividad eléctrica, la permeabilidad y la estructura del suelo.

López et al. (2008) desarrollaron un trabajo sobre los cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo en una sábana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años; con el objetivo de presentar una comparación de los principales indicadores de calidad de suelos en la sabana protegida de la EBL en relación a una sábana alledaña sometida a la quema y pastoreo característico de estas sabanas; Para ello en ambas sabanas se seleccionaron 10 sitios al azar, en donde se realizaron los ensayos *in situ* de capacidad de campo y se obtuvo igual número de muestras de suelo en los primeros 15 cm para realizar los análisis de laboratorio. Los resultados mostraron que en las sabanas protegidas de la quema y el pastoreo existe mayor fertilidad, debido a un pH menos ácido y a los contenidos más altos

de materia orgánica, bases cambiables, fósforo orgánico 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.

Samaniego (2013) desarrollo un trabajo en el efecto de un incendio forestal en una plantación de *Eucalyptus globulus Labill. Subsp.* en Huaraz; con la finalidad de evaluar el efecto de un IF en una plantación de *Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus* de cuatro años de edad ubicada en Huaraz. Para desarrollar el estudio el área se estratificó identificando el área afectada por el IF (estrato 1) y no afectada por el fuego (estrato 2) de tal manera que el tamaño de la muestra fue proporcional al tamaño del estrato uno y dos. El muestreo fue en fajas distribuidas en zigzag en el área de la plantación con la finalidad de cubrir todo el estrato uno y dos. Se evaluó una planta al azar cada cierta distancia a partir de la primera planta. Los resultados que obtuvo son los cambios en la textura, un ligero aumento del pH y una notable disminución del porcentaje de materia orgánica. El contenido de fósforo en el suelo mantiene un ligero aumento mientras que el potasio se vio notablemente reducido. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue ligeramente reducida, mientras los cationes cambiables presentaron en general un ligero aumento en su concentración. La suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases no presentaron diferencias respecto al testigo.

Rojas (2016) desarrollo un trabajo de evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después de la quema en dos tipos de uso del suelo en el distrito de Campo Verde 2014; con el objetivo de identificar los cambios que experimentan las propiedades físicas y químicas del suelo de pastizales y bosques secundarios por acción de la quema; para ello se seleccionó 4 parcelas de 100 m² c/u, en cada tipo de suelo, de las cuales se tomó 4 muestras antes de la quema y cuatro muestras después de la quema, siendo en total 16 muestras analizadas en el laboratorio de análisis de suelo del Instituto Nacional de Investigación Agraria

(INIA). Los resultados obtenidos muestran que el principal parámetro que experimenta cambios después de una quema es el pH para ambos ecosistemas; los elementos principales como el P, Mg, K y Ca, experimentan variaciones de aumento al igual que la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico; sin embargo, estadísticamente no tienen significancia, mientras que las texturas en ambos tipos de suelo no presentan modificaciones después de someterse a la quema en ambos ecosistemas.

Huamán (2018) efectuó un trabajo en el efecto de la quema en las propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el distrito de Sincos, Jauja, 2018; con el objetivo de determinar el efecto de la quema a T° crecientes, de 0 °C a 400 °C en las propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola de Sincos, Jauja, para ello se utilizó el método de análisis: las muestras de suelo de Sincos, que experimentaron temperaturas entre 0 °C y 400 °C fueron analizadas, antes y después, en sus propiedades fisicoquímicas: distribución del tamaño de partículas (textura), pH, contenido de carbonato de calcio (CaCO₃), conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), contenido de fósforo (P), contenido de potasio (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes cambiabiles (Ca, Mg, Na, K) y relaciones catiónicas. Los resultados obtenidos fueron un incremento significativo del contenido de arena, pH, conductividad eléctrica, fósforo disponible, potasio extractable, potasio cambiabile y relación K: Mg. Además, se observó la disminución de arcilla, materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, calcio y magnesio cambiabiles. Las temperaturas no afectaron el contenido de limo, sodio cambiabile y la relación Ca: Mg. Estos efectos se observaron en las temperaturas de 300 y 400 °C.

Alva y Manosalva (2019) desarrollaron un trabajo de efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca; con el objetivo de analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca,

para ello se instalaron parcelas de 40 m² como un diseño completamente al azar. Se consideró criterios de presencia o ausencia de fuego en el suelo del área de estudio (con incendio/sin incendio) y dos profundidades de muestreo 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Cada condición tuvo 3 repeticiones dentro de la zona incendiada y los testigos 3 repeticiones. Obtuvieron como resultado una alta significación estadística en la conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, magnesio cambiante, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico, concentraciones que se incrementaron en las parcelas quemadas. No se registraron diferencias significativas en el pH, textura, calcáreo total, fósforo disponible, calcio, potasio y sodio cambiante. Con relación al color del suelo, en las parcelas afectadas por el fuego, el matiz Munsell no varió, el brillo disminuyó ligeramente y la intensidad se mantuvo.

Casas (2019) desarrollo un trabajo de efectos del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco – Cajamarca; con el objetivo de determinar los efectos del incendio forestal del año 2018 en las propiedades físicas (textura, color y densidad aparente) y químicas (pH, materia orgánica, CE, CIC, cationes intercambiables, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos y nitrógeno total) del suelo, en la localidad de Huacraruco, provincia Cajamarca a 8 meses del incendio. Para ello se realizó un muestreo: se ejecutó a dos profundidades (0 – 10 cm y 10 – 20 cm). El área quemada y el área sin quemar se dividió en dos sub áreas cada una, en cada una de las sub áreas se tomó 15 sub muestras para las dos profundidades. Una vez tomada las 15 sub muestras se homogenizaron y se obtuvo una muestra compuesta por sub-área; la muestra compuesta se separó en cuatro partes y se extrajo la muestra que fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se obtuvo como resultado en propiedades físicas del suelo, la densidad aparente se incrementó en un 0.125 g cm⁻³ en el suelo quemado y respecto al color y textura el efecto ha sido nulo. En relación a las propiedades químicas del suelo quemado, se han incrementado los valores de materia orgánica

(1.055 %), nitrógeno (0.080 %), fósforo y potasio disponible (0.250 ppm y 61 ppm) y la capacidad de intercambio catiónico (4.225 meq/100 g); por el contrario, el pH del suelo quemado decreció en 0.460 unidades. Sin embargo, estos valores varían de acuerdo a la profundidad del suelo.

Rabanal (2021) efectuó un trabajo de efectos de la intensidad de quemado en las propiedades químicas en un suelo forestal en el caserío Conga de Urquía, distrito Sucre, provincia Celendín, región Cajamarca, con la finalidad de determinar los efectos de la intensidad de quemado en las propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, carbonatos, CIC, cationes cambiabiles y nitrógeno total). Para ello las muestras del suelo en estudio fueron calentadas a 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C por 30 minutos. Como resultado se obtuvo a 100°C se produjo cambios en dos parámetros, esto es, el aumento del potasio disponible (17.00 ppm) y la disminución en los valores de pH (0.28 unidades). A 200°C y 300°C se elevaron los valores de potasio disponible (20.50 ppm, 27.00 ppm), fósforo disponible (9.95 ppm, 8.00 ppm), catión K⁺ (0.06 meq/100 g, 0.08 meq/100 g), limo (6%, 7%) y se amenoro las cantidades de pH (0,57 unidades, 0,3 unidades), CIC (2,08 meq/100 g, 4.24 meq/100 g), arena (7.00 %, 11.00 %). A 400°C se incrementa la conductividad eléctrica (0.48 dS/m), la fracción arena (1%) y disminuye la fracción arcilla (9%). Los cambios más significativos ocurrieron al quemar el suelo a 500°C disminuyendo la materia orgánica (4,36%), el nitrógeno (0,14%), CIC (10.56 meq/100 g), calcio (0.65 meq/100 g), suma de cationes (2,37 meq/100 g). se concluye que, los incendios de alta intensidad producen cambios negativos en los suelos debido a las pérdidas de ciertos nutrientes, materia orgánica y otras propiedades químicas esenciales del suelo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Incendio forestal

La FAO (2015) lo define como cualquier incendio de vegetación incontrolada, incluye los incendios de vegetación que son prendidos, pero sobrepasan las restricciones establecidas en el plan de fuego y por tanto requieren medidas de extinción.

2.2.2 Tipos de incendios forestales

Flores (2009) manifiesta que no todos los incendios forestales son iguales, estos se pueden clasificar de acuerdo al estrato, intensidad y velocidad de propagación del fuego.

2.2.2.1 Según el estrato que se quema

Flores (2009) menciona que de acuerdo con el estrato que se quema este se clasifica en tres categorías.

Incendios subterráneos

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

Incendios superficiales

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

Incendios de copa

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

2.2.2.2 Según la intensidad

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

Suaves

Se caracterizan por presentar en el horizonte superficial del suelo, cenizas negras, formadas por restos chamuscados de residuos vegetales. En estos incendios, la temperatura máxima que se alcanza en la superficie del suelo está comprendida entre 100 y 250°C, pero por debajo de los primeros 2 cm de la superficie la temperatura no excede los 100°C. (Fernández, 1997)

Moderados

La temperatura en la superficie del suelo oscila entre 300 y 400°C, por lo que se produce una combustión parcial de la materia orgánica, desapareciendo toda la hojarasca y los restos vegetales. A 1 cm de profundidad se alcanzan temperaturas comprendidas entre 200 y 300°C,

afectando al horizonte orgánico del suelo, además se estima que entre los primeros 3 y 5 cm de profundidad la temperatura no supera los 80°C. (Fernández, 1997)

Intensos

La superficie del suelo presenta cenizas blancas, lo que indica una combustión completa de la materia orgánica, alcanzándose en la zona más superficial temperaturas comprendidas entre 500 y 700°C. A 2 ó 3 cm de profundidad las temperaturas oscilan entre los 150 y 400°C y el efecto del calor es mínimo a profundidades superiores a 7-10 cm. (Fernández, 1997)

2.2.2.3 Según la velocidad de propagación del fuego

Es el rango de incremento o expansión de un incendio, medido en forma lineal (metros por minuto, metros por segundo o kilómetros por hora), o bien en términos dimensionales (metros cuadrados por minuto o hectárea por hora). La velocidad de propagación varía según el tipo de incendio en desarrollo. Un incendio subterráneo puede desplazarse a un rango de pocos metros al día, en cambio uno superficial, que consume hojarascas o hierbas asociadas, lo puede hacer a un ritmo de 50 a 200 metros por hora (en terrenos planos y sin influencia del viento). Tanto los incendios subterráneos como los superficiales pueden ser predecibles en lo que refiere a su velocidad de propagación, siempre que sea conocido el tipo de combustible por el cual se están desplazando, la pendiente, los efectos del viento y otros agentes climáticos que afecten el Comportamiento. (CONAF, 2002)

2.2.3 Efectos generales de los incendios sobre el ecosistema

Los incendios forestales provocan contaminación térmica temporal a todos los componentes del ecosistema, emiten partículas nocivas a la atmósfera y compuestos que contribuyen al calentamiento global del planeta. (DNCC, 2020)

Las distintas especies vegetales presentes en los distintos ecosistemas responden de forma diferencial al fuego, dependiendo de sus habilidades para tolerarlo y de los mecanismos de regeneración que posean. Existen especies carentes de adaptaciones de resistencia o tolerancia al fuego, incluso los incendios de intensidad baja pueden causar una alta mortalidad. Si estas adaptaciones están ausentes en gran parte de las especies que componen la comunidad, el impacto sobre el ecosistema puede cambiar drásticamente la dinámica y composición de la vegetación y el resto de la cadena trófica. (Jaksic & Fariña, 2015)

El suelo, como ya sabemos, es un complejo sistema biológico que desde el punto de vista físico-químico está integrado por tres fases, sólida, líquida y gaseosa, en un estado de equilibrio dinámico pero frágil. La combinación adecuada de las mismas posibilita la existencia de una estructura adecuada que permite al ecosistema suelo desarrollar sus funciones. El efecto principal de una estructura pobre sobre el suelo, se manifiesta por la inestabilidad de la superficie y la compactación del suelo. La importancia de la estructura es considerable ya que una estructura adecuada, no solamente favorece la aireación y permeabilidad del suelo, sino que también permite la penetración de las raíces, las que juegan un papel muy importante en la resistencia del suelo a la erosión. Un suelo cuyas partículas estén adecuadamente ligadas entre sí resistirá mejor los efectos mecánicos de disgregación y arrastre provocados por la erosión hídrica y eólica. Los incendios forestales pueden provocar que los horizontes superficiales del suelo sean más frágiles. (Bodi et al., 2008)

2.2.4 Efectos de los incendios sobre la vegetación

Los incendios forestales son la causa de destrucción de los bosques, constituyendo una amenaza para el manejo sustentable de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente. La frecuencia de los incendios ha favorecido la sustitución de especies de árboles propios de los ecosistemas maduros por especies de árboles invasores, que se ven favorecidos por los incendios. Es evidente que los incendios forestales inciden negativamente en el cambio

climático, en tanto la vegetación es un sumidero natural de CO₂. En este aspecto el impacto por tanto es doble, ya que la vegetación deja de absorber CO₂ al mismo tiempo que la combustión contribuye a las emisiones de éste y otros gases. (Castillo, 2010)

En el caso del recurso forestal, la frecuencia de los incendios forestales puede ocasionar cambios en la dinámica, ya que muchas especies no alcanzan su etapa de madurez, causando disminución en la distribución espacial o incluso la extinción de las especies. (Tessler et al., 2016)

Luego de producirse incendios de gran intensidad, la sucesión de la vegetación comenzará con la llegada de especies colonizadoras como líquenes y musgos, que lentamente darán paso al establecimiento de plantas con flores. En contraste, en los incendios leves, la sucesión de vegetación puede comenzar a partir de regeneración vegetativa o rebrote de los individuos sobrevivientes. Estos procesos de recolonización pueden tomar tiempos muy largos, debido a que las áreas no quemadas son limitadas y los suelos han sido erosionados. (Fernandez et al., 2010)

2.2.5 Efectos del incendio forestal sobre la fauna

Los incendios forestales generan impacto tanto en animales vertebrados como invertebrados, esto produce migraciones de la fauna que habita en el espacio incendiado. Muchas especies de animales están desapareciendo a causa de los incendios y de la deforestación, ocasionando efectos devastadores en las distintas especies por la pérdida de su hábitat natural. (Nasi, 2010)

El efecto inmediato de los incendios forestales sobre la fauna es la muerte de aquellos animales que no pueden escapar del fuego, además de generarse la ruptura de la cadena trófica por ausencia de estrato vegetal. La vegetación es una parte muy importante de su hábitat, que producto de las llamas es alterado, al desaparecer el hábitat de la fauna silvestre, se

desequilibran las cadenas alimenticias y muchos procesos de la vida se ven truncados. (Capulín et al., 2010)

2.2.6 Efectos de los incendios forestales sobre el ecosistema edáfico

Los incendios forestales provocan la degradación del suelo. El nivel de degradación del suelo va a depender de la topografía del lugar, intensidad del proceso de erosión, tasa de regeneración de la cubierta vegetal post-incendio, recurrencia, intensidad y duración del fuego. Los principales impactos de los incendios forestales son a nivel de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos impactos se traducen en la generación de erosión, pérdida de nutrientes, disminución de la materia orgánica, alteración de la vegetación. (Merche y Bodí, 2012)

Los incendios forestales también afectan la actividad biológica del suelo, generando una desestabilización del ciclo de nutrientes. Esta desestabilización se debe por la disminución de los microorganismos que ayudan a los procesos de descomposición de compuestos orgánicos y a la disponibilidad de nutrientes. (Solera y Guerrero, 2007)

Tabla 1*Las alteraciones en el suelo según la temperatura*

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

Fuente: Solera y Guerrero (2007)

2.2.6.1 Calidad física

Tras el paso del fuego las propiedades físicas del suelo sufren ciertos cambios considerables, especialmente en la capa superior. La densidad aparente del suelo tiende a disminuirse, lo cual puede ser positivo al facilitar la penetración de raíces, especialmente para plantaciones forestales. Sin embargo, otras plantas de raíces débiles podrían sufrir debido a que la fase sólida del suelo se endurece en el proceso. Al mismo tiempo, la capacidad de retención de humedad se reduce, representando un problema en climas secos o estacionales. (Gonzales, 2009)

Benavides (2009) refiere que la intensidad del fuego y el tiempo de exposición al calor del suelo, definen el grado de respuesta de las propiedades. Así mismo debe considerarse la frecuencia, la duración y la intensidad del fuego, además de las características del suelo. Sin embargo, León (2004), refiere que el fuego modifica la permeabilidad del suelo, pero es poco probable que el calor sea suficiente para alterar características como su textura.

2.2.6.2 Calidad química

La materia orgánica del suelo es quemada, las sustancias netas contenidas son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que generalmente presentan reacción alcalina. De ese modo, cuando las cenizas son depositadas en el suelo la tendencia es a disminuir la acidez. El pH aumenta tras el incendio debido a la solubilización de las cenizas, si bien ese cambio dependerá básicamente del tipo de vegetación, de las temperaturas alcanzadas y el grado de combustión de la materia vegetal que determinan la composición de las cenizas. (Martinez et al., 2010)

Según Mills (2007), el pH del suelo sufre un ligero y progresivo aumento, ligado a la disponibilidad inmediata de cationes en la ceniza. En el caso del fósforo, ocurre un incremento

no significativo después de un año en las parcelas quemadas, lo contrario del potasio que decrece.

Según Martínez *et al.* (2010) indican que se producen incrementos en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio en valores relativamente altos. Para el potasio, la precipitación eventualmente contrarresta las pérdidas producidas por quemas, sin embargo, el potasio es muy móvil y puede ser lixiviado con mayor fuerza en suelos con menor cobertura de vegetación. En los suelos protegidos con mayor cobertura arbórea, la hojarasca de estos árboles puede enriquecer al suelo. Adicionalmente, la presencia de árboles favorece el desarrollo de la macro fauna del suelo, sobre todo si hay leguminosas arbóreas, que tienen el potencial para fijar nitrógeno atmosférico.

2.2.7 Efecto de los incendios forestales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los incendios forestales, tanto de una manera directa como indirecta provocan modificaciones físicas y químicas en los suelos afectados. A continuación, se hace una revisión a las características más relevantes y que resultan más alteradas por el paso del fuego.

2.2.7.1 Propiedades físicas del suelo

a. Modificación del color

Ulery y Graham (1996) observaron que los incendios de baja y moderada intensidad no producían cambios en el color de la matriz del suelo, más allá de la formación de ceniza negra. En cambio, los fuegos de alta intensidad con temperaturas superiores a 500°C producían el enrojecimiento de la misma. En suelos severamente quemados, el autor encontró un enrojecimiento de la capa superficial del suelo entre 1 y 8 cm de profundidad, además de la acumulación de ceniza grisácea en la superficie. Ello sería el resultado de las transformaciones

de los óxidos de Fe, con probable incremento de la hematita y/o maghemita y la eliminación de la materia orgánica.

b. Modificación de la estructura del suelo

Generalmente, tras los incendios se detecta una reducción de la estabilidad de los agregados, relacionada con la pérdida de materia orgánica. Esta reducción de agregados estables en el suelo, también se ha achacado en algún caso a una característica intrínseca del suelo como es su composición textural. Se pueden encontrar tendencias contrarias cuando hay fuegos de baja intensidad o de copas en los que la agregación aumenta (por aumento del contenido de materia orgánica) o bien sufre ligeras modificaciones. (Guerrero, 1998)

Los fuegos superficiales poco intensos pueden aumentar ligeramente la cantidad de materia orgánica del suelo, como resultado del aporte de material vegetal que no ha sufrido una combustión completa. Sin embargo, en los incendios de alta intensidad se produce de forma irremediable, una disminución extremadamente significativa de materia orgánica de los suelos. En estos casos se puede llegar a alterar directamente la estructura de los horizontes superficiales del suelo, condición que puede ocurrir cuando grandes concentraciones de combustible forestal seco son quemados sobre un suelo. (Vázquez y Carballas, 1993)

De modo general, se observa que los fuegos producen de forma sistemática una disminución muy significativa de la estabilidad de la estructura de los suelos afectados. Las causas de esta disminución, en primer lugar, es la destrucción de parte de la materia orgánica, que desempeña un papel fundamental en la formación y mantenimiento de una buena estructura, y, en segundo lugar, es la eliminación temporal de la vegetación de la mesofauna y de parte de los microorganismos del suelo, factores que contribuyen definitivamente a la agregación. (Díaz et al., 1994)

c. Modificación de la textura del suelo

Los incendios forestales pueden ocasionar cambios texturales en los suelos, tanto de una manera directa como indirecta. Se han observado en zonas afectadas por el fuego, aumento de partículas gruesas, como arenas y gravas; además, se observó la disminución en los contenidos de partículas finas como arcilla y limo inmediatamente después del fuego. Este efecto, según el autor, se puede observar transcurridos dos años del incendio y es probablemente debido a reagrupamientos de las partículas minerales. Sin embargo, otros autores no han encontrado cambios significativos en la textura de los suelos sometidos a incendios forestales. El mineral de la fracción arcilla puede modificarse por la acción del fuego alterando sus estructuras. Este hecho se ha puesto de manifiesto en suelos desarrollados sobre granodioritas y en suelos desarrollados sobre esquistos y cuarcitas. Estos cambios están relacionados con la intensidad del fuego y se hacen patentes sólo cuando los minerales de la arcilla son susceptibles de variar con el calor. (Guerrero, 1998)

Existen diversos estudios sobre la influencia que la temperatura ejerce en las estructuras de los minerales laminares, observándose ciertas modificaciones en algunos minerales existentes en los horizontes superficiales, que son susceptibles a la alteración, como la caolinita y la vermiculita e incluso se han detectado en ocasiones la desaparición de otros minerales no laminares. En suelos ácidos se ha observado la formación de calcita, suelos donde este mineral no se encontraba antes de producirse el incendio. (González et al., 1992)

d. Modificación de la densidad aparente del suelo

La densidad aparente es la masa de suelo seco por unidad de volumen total 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 macro

poros que son mayores a 0,6 mm de diámetro y los micro poros 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 macro poros 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 macro poros, los cuales son primordiales para las vías de infiltración de agua y su posterior filtración a través del perfil del suelo. (Úbeda, 2001)

2.2.7.2 Propiedades químicas del suelo

a. Modificación del pH del suelo

En cualquier incendio, la acidez del suelo se ve reducida debido al aporte de cationes, fundamentalmente Ca, Mg, K, Si y P, así como determinados óxidos y carbonatos contenidos en las cenizas. El humedecimiento de las mismas produce la hidrólisis de los cationes básicos contenidos en ellas y, consecuentemente, la elevación del pH. (Martínez et al., 2010)

Generalmente la variación del pH del suelo irá relacionado a la intensidad del incendio. En incendios de baja intensidad, donde la combustión de la materia orgánica es muy baja, los cambios en el pH son insignificantes. Se ha observado en algunos casos que se puede producir una disminución del pH en algunas décimas. Este hecho se atribuye a una disminución del poder amortiguador del suelo como consecuencia de la deshidratación de los coloides. En los casos en los que la intensidad del incendio es alta, y se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH puede llegar a aumentar mucho, debido fundamentalmente a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla y a la formación de óxidos. (Giovannini et al., 2001)

b. Modificación de la conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica va cambiando por la incorporación y el incremento de cenizas minerales, produciendo un aumento notable de la salinidad del suelo, ya que solubiliza iones que previamente estaban inmovilizados. Cabe decir que estos iones liberados pueden suponer una mejora de la fertilidad en la mayoría de los casos, pero en otros, pueden producir problemas, en el sentido de que la absorción de algunos nutrientes puede ser inhibida por problemas antagónicos surgidos de la acumulación de elementos minerales. Con el paso del tiempo lo que se ha observado es que en un plazo relativamente corto (uno o dos años) la CE vuelve a los valores pre-incendio, o incluso presenta valores más bajos. (Solera & Artemy, 2009)

c. Modificación de la materia orgánica del suelo

El contenido de materia orgánica decrece tras un incendio de alta intensidad; sin embargo, en incendios de baja intensidad, el contenido de materia orgánica del suelo puede verse incrementada por el aporte de material vegetal. La combustión de gran parte de la materia orgánica repercute negativamente sobre las características edáficas; si bien aumenta la cantidad de nutrientes utilizables, también hay que tener en cuenta que estos elementos serán arrastrados por el agua con mayor facilidad, ya que con la pérdida de materia orgánica disminuye también la capacidad del suelo para almacenar nutrientes. Es importante señalar que no solo la combustión de la materia orgánica produce cambios, la simple sequedad debida a la pérdida de la humedad del suelo provocada por el incendio, causa modificaciones químicas en la materia orgánica, haciéndola más fácilmente mineralizable. (González, 2009)

d. Modificación del nitrógeno del suelo

El fuego interrumpe los ciclos de los nutrientes y particularmente del nitrógeno que sufre modificaciones importantes. Algunos de los efectos del fuego son directos, provocando

la volatilización y oxidación del nitrógeno orgánico acumulado en el humus. El fuego produce un aumento del nitrógeno utilizable del suelo, este aumento es temporal. En efecto, a consecuencia del fuego, la materia orgánica se descompone y libera iones amonio que contribuyen a aumentar la cantidad de nitrógeno utilizable. (Solera 1999) Tiempo después de haberse producido el incendio, aumenta el contenido en nitratos del suelo, como resultado del incremento de la actividad bacteriana que se produce al aumentar el pH. (Castillo et al., 2003)

e. Modificación del fósforo del suelo

El contenido de fósforo disponible para las plantas en general aumenta tras los incendios forestales, debido a la incorporación de cenizas producto de la combustión de la vegetación. Este incremento de fósforo en forma asimilable es el responsable de la efímera fertilidad que presentan los suelos tras los incendios. (Solera & Artemy, 2009)

f. Modificación del potasio del suelo

El potasio experimenta un aumento generalizado en su concentración después de la quema, pero debe señalarse que se llega a perder en parte por el lavado de las primeras lluvias. (Solera & Artemy, 2009)

g. Modificación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC)

Si el fuego actúa directamente sobre el suelo, la reducción en los porcentajes de materia orgánica se traducirá, en un descenso de la capacidad de intercambio catiónico. Esto debido a que parte de los cationes liberados no podrán ser retenidos en el complejo absorbente, siendo más fácilmente lixiviados hacia horizontes profundos en el perfil del suelo o arrastrados sobre el suelo desnudo por el agua tras las primeras lluvias. Las variaciones van a depender de la intensidad del fuego y del tipo de suelo. La alteración de la materia orgánica se da a temperaturas comprendidas entre 100 a 250°C, observándose una reducción del 20% de la

capacidad de intercambio catiónico en suelos en los que esta propiedad está determinada fundamentalmente por el humus. Sin embargo, si la intensidad del fuego ha sido baja, se ha encontrado un aumento de la capacidad de intercambio catiónico, este efecto posiblemente está relacionado con la liberación de cargas procedentes de complejos órgano-minerales. (González et al., 1992)

2.3 Definición de términos básicos

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas), y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄, etc.). (FAO, 2019)

Color

Es una característica del suelo, las principales sustancias que otorgan al suelo su color son el humus y los compuestos minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos. (Rucks, 2004)

Densidad

Es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo. En este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno. (Ramírez, 1997)

Estructura

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y unidades de mayor tamaño nombrados peds. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. (FAO, 2019)

Fósforo

Es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas ya que sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente. (Munera y Meza, 2016)

Incendio agrícola

Es un incendio que se propaga sin control por un terreno dedicado al cultivo agrícola. (Ruiz, 2015)

Incendio forestal

Es el fuego que se da en bosques naturales o plantados, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza y que avanza sin ningún control, ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales. (SERNANP, 2016)

Materia orgánica

Constituida por material orgánico vivo o muerto. La materia orgánica viva lo conforman las raíces de las plantas, bacterias, lombrices de tierra, algas, hongos, entre otros. La materia orgánica muerta está conformada por los restos muertos o en descomposición como hojarasca, estiércol, entre otros. (FAO, 2019)

Nitrógeno

Es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio NH_4^+ . (FAO, 2019)

pH

Establece el grado de acidez o de alcalinidad que el suelo presenta. (Jaramillo, 2002)

Plantación forestal

Son las formaciones forestales que han sido sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación. (FAO, 2019)

Porcentaje de saturación de bases

Conformada por la fracción de cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) que ocupan posiciones en los coloides del suelo. (FAO, 2019)

Porosidad

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. (FAO, 2019)

Salinidad del suelo

Acumulación de sales solubles en agua del suelo. (FAO, 2019)

Suelo

Sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, capa superior de la corteza terrestre, formado por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. (FAO, 2019)

Textura

Representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. (Rucks, 2004)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La zona en que se llevó a cabo el estudio se encuentra ubicada en el centro poblado EL Lirio, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, al norte del distrito de Bambamarca, a una altitud de 2950 msnm.

3.1.1 Vías de acceso

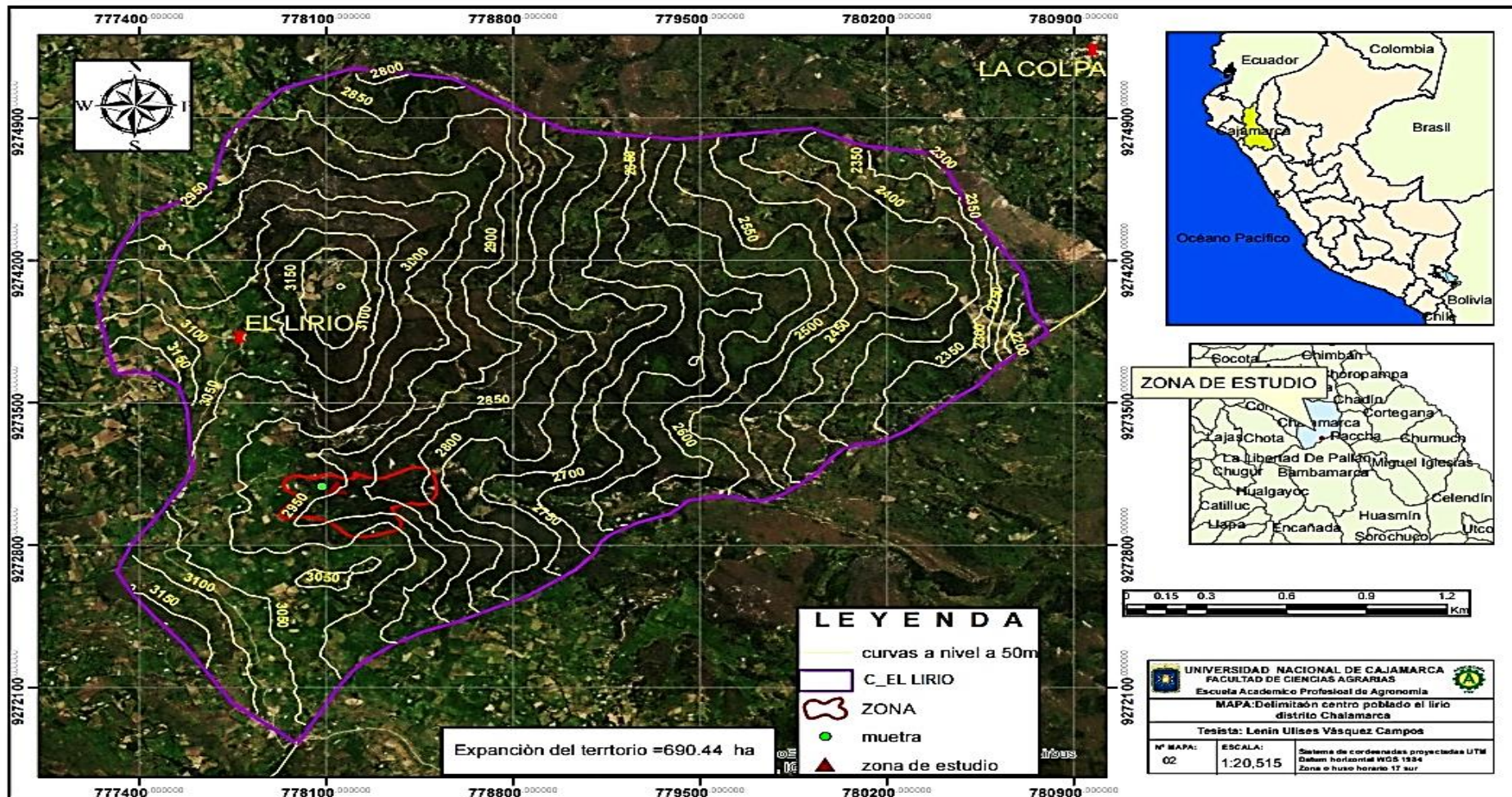
Para llegar a la zona de estudio se accede por la vía asfaltada Cajamarca - Bambamarca, y con un desvío hacia la comunidad El Lirio. De allí se camina en un tiempo de unos 10 minutos para llegar a la plantación forestal.

Tabla 2

Vías de acceso al área de estudio

De	A	Estado de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca	Bambamarca	Asfaltada	112	2 horas 45 min*
Bambamarca	El Lirio	Trocha carrozable	23	1 hora 25 min*
El Lirio	Plantación Forestal	Camino herradura	2	10 min**

Figura 1
Ubicación del área de estudio



3.1.2 Fisiografía

La plantación forestal de esta investigación se localiza en la ribera de la quebrada Conocida como “Surumayo” en la que se presenta una pendiente superior al 50%, considerada empinada a muy empinada. Además, existen áreas de menor pendiente donde se realizan actividades agropecuarias.

3.1.3 Clima

El bosque donde se encuentra la plantación forestal en estudio se caracteriza por la existencia de precipitaciones durante casi todo el año, con un periodo de máxima precipitación en los meses de octubre hasta abril, época en el cual se descarga entre el 75 y 95% del total anual de las precipitaciones pluviales con un promedio de precipitación que oscila entre 1000 y 1400 mm por año. En los meses de mayo a septiembre las temperaturas durante el día son altas y bajas por las noches con presencia de heladas. (MINAM, 2010)

3.1.4 Vegetación

La vegetación es el componente de un paisaje que puede estar conformada por especies herbáceas, leñosas, arborescentes y arbustivas. (Hernández, 2000)

La vegetación forestal predominante de la zona es el pino (*Pinus patula*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) seguido de plantas arbustivas y hierbas como el roble (*Nectandra lineatifolia*), quinua (*Polylepis racemosa*), lanche (*Myrcianthes myrsinoides*), mangle (*Myrsine coriacea*), sugarcillo (*Pitcairnia pungens*) y calaguala (*Niphidium crassifolium*).

3.2 Materiales

- ✓ Pala
- ✓ Fundas plásticas (ziploc)
- ✓ Marcador
- ✓ GPS
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Recipiente plástico (termo cooler)
- ✓ Balde
- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Etiquetas para muestras
- ✓ Equipos de análisis de suelo
- ✓ Reactivos
- ✓ Estufa
- ✓ Probeta
- ✓ Tabla de Munsell
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Tamiz

3.3 Metodología

3.3.1 Trabajo de campo

En esta etapa se realizó las siguientes actividades

Evaluación antes que ocurra el incendio, área afectada

Se realizó un monitoreo general del área afectada y no afectada para la toma de muestras a través de un muestreo al azar.

Toma de muestras del área afectada y del área no afectada

Se procedió a tomar 11 muestras de suelo de las cuales 10 fueron muestras del área afectada y 1 muestra testigo del área no perturbada por el incendio forestal.

El primer muestreo se realizó a las 24 horas de producido el incendio, en el que se tomó la muestra testigo del área no afectada y las muestras del área afectada. Para la toma de estas muestras se procedió a limpiar la superficie del suelo, para luego con una pala efectuar una excavación en forma de “V “, de 0 a 10 cm de profundidad, impidiendo que el suelo se desmorone, sacando un corte de 3 cm de espesor al que se le eliminó los bordes laterales con un cuchillo. Se tomaron 10 submuestras, éstas se mezclaron en un recipiente con la finalidad de homogeneizar la muestra de suelo, de la que se tomó 1 kg de tierra.

Las siguientes muestras del área afectada se tomaron periódicamente a los 10, 30, 60, 90 y 120 días posteriores al incendio.

Etiquetado y traslado de las muestras

En total se tomaron 11 muestras, de las cuales 7 fueron etiquetadas y remitidas al Laboratorio de Suelos Fertiabono en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca, para los análisis correspondientes y las 4 muestras restantes fueron etiquetadas y llevadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca para el análisis de la densidad aparente, color y la estructura.

3.3.2 Trabajo de laboratorio

En el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca se utilizó el método de la probeta, para la determinación de la densidad aparente de la muestra del área afectada y del área no afectada por el incendio forestal. Para la determinación del color del

suelo tanto del área afectada como del área no afectada se utilizó la Cartilla de Munsell. En el Laboratorio de Suelos, donde se realizó los análisis de la textura, propiedades físicas y propiedades químicas del suelo, se utilizó los siguientes métodos.

Tabla 3

Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos Fertiabono

PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Color	Cartilla de Munsell
Estructura	Método visual
Textura	Analizador multiparamétrico
Densidad aparente	Método de la probeta
pH	Analizador multiparamétrico
Conductividad eléctrica	Analizador multiparamétrico
Materia orgánica	Analizador multiparamétrico
Nitrógeno	Analizador multiparamétrico
Fosforo	Analizador multiparamétrico
Potasio	Analizador multiparamétrico
Capacidad de intercambio catiónico	Analizador multiparamétrico

3.3.3 Trabajo de gabinete

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

- ✓ Excel
- ✓ ArcGIS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo del área afectada y del área no afectada

La Tabla 4 nos da a conocer los resultados de las propiedades física y químicas del suelo del área afectada y del área no afectada por el incendio forestal, a través de las secuencias de tiempo en que se han realizado las tomas de muestras y análisis.

4.1.1 Color

El color en seco del suelo del área no afectada es 10 YR 4/4 (amarillento oscuro) y del área afectada es 10 YR 4/3 (marrón oscuro). Estos datos coinciden con los datos encontrados por Alva y Manosalva (2019), quienes en su investigación determinaron que el incendio forestal generó cambios en el color del suelo en los primeros 10 cm, pasando de un color más claro en el área sin quemar a un color oscuro en el área quemada. Este cambio de color se debe principalmente a la acumulación de cenizas y materia orgánica quemada en la superficie del suelo.

El color en húmedo del suelo del área no afectada y del área afectada es de 10 YR 3/3 (marrón oscuro). Según Neary *et al.* (2005), señalan que en los incendios de poca intensidad no se observan modificaciones en el color del suelo, más allá de la formación de ceniza negra.

Tabla 4*Propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo de ocurrido el incendio*

Características	Unidades	Sin quemar	1 día	10 días	30 días	60 días	90 días	120 días
Densidad aparente	g/cm ³	0.80	0.82	0.82	0.82	0.86	0.86	0.86
Color en seco	unidad	10 YR 4/4	10 YR 4/3	10 YR 4/3	10 YR 4/3	10 YR 4/3	10 YR 4/3	10 YR 4/3
Color en húmedo	Unidad	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/3
Arena	%	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
Limo	%	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
Arcilla	%	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
Clasificación textural	-	Fr.Ar.	Fr.Ar.	Fr.Ar.	Fr.Ar.	Fr.Ar.	Fr.Ar.	Fr.Ar.
pH	Unidad	5.22	5.51	5.38	4.52	4.65	4.15	4.43
Al cambiabile	me/100g	1.65	0.88	1.20	4.02	3.63	5.89	4.57
C.E	Umhs	95.50	103.50	90.00	113.00	75.00	141.00	160.50
M.O.	%	2.80	2.80	2.80	2.89	3.00	2.80	2.80
N	%	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15	0.14	0.14
P disponible	ppm	6.06	6.65	6.31	5.17	4.92	4.80	5.28
K disponible	ppm	153.47	165.75	160.24	116.02	130.34	108.16	120.02
CIC	me/100g	24.20	24.20	24.20	24.30	24.50	24.20	24.20
Ca cambiabile	me/100g	9.37	10.56	10.03	7.11	7.13	5.00	6.14
Mg cambiabile	me/100g	0.94	1.06	1.00	0.69	0.71	0.50	0.61
K cambiabile	me/100g	0.46	0.52	0.50	0.33	0.35	0.25	0.30
Na cambiabile	me/100g	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Saturación de bases	%	44.58	50.21	47.69	31.23	33.50	23.78	29.22
Acidez de cambio	me/100g	13.42	12.05	12.66	16.42	16.30	18.45	17.13

4.1.2 Estructura

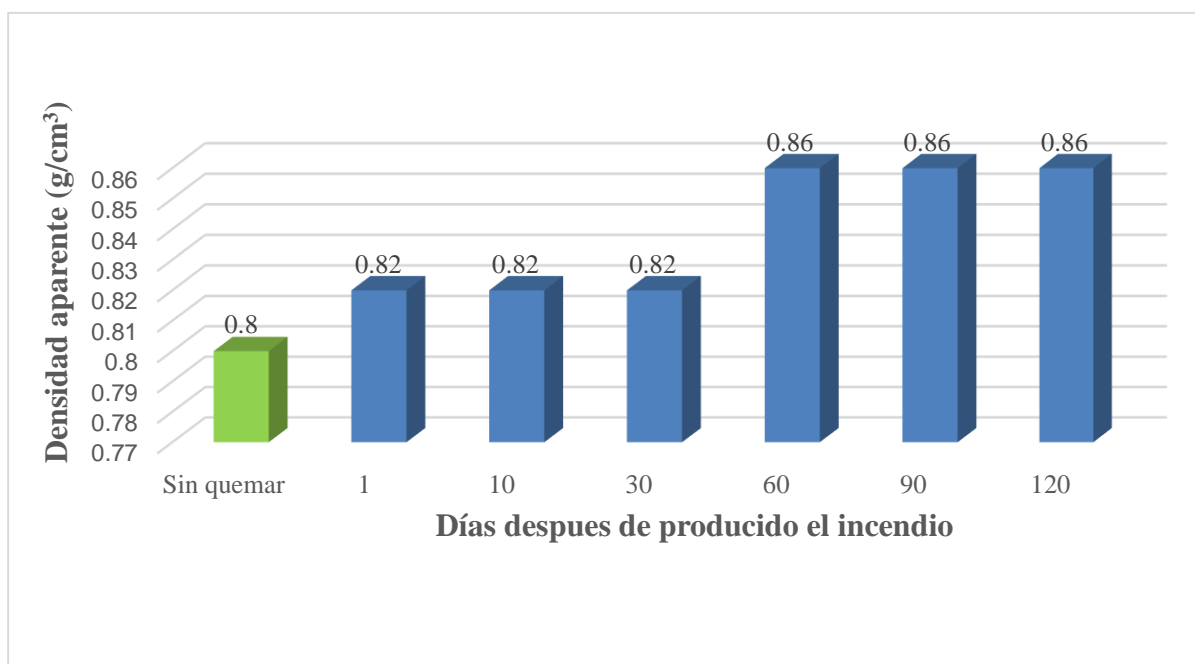
De acuerdo al análisis de las muestras que se llevaron al laboratorio de suelos se llegó a determinar que la estructura del suelo del área no afectada y del área afectada es de tipo bloques sub angulares, de clase finos a medios y de grado 2 (Bs, f-m, 2). Luego de la comparación se determinó, que el incendio forestal no produjo cambios en las características estructurales del suelo y esto es probablemente porque el incendio no alcanzó la temperatura suficiente para producir cambios significativos. Estos datos coinciden con los encontrados por Solera *et al.* (2011), quienes mencionan que los incendios de baja intensidad no producen cambios importantes en la estabilidad de los agregados.

4.1.3 Densidad aparente

Según los resultados de la Figura 2, indica que la densidad aparente se incrementa notablemente a medida que va pasando el tiempo posterior al incendio forestal.

Figura 2

Valores de la densidad aparente del área no afectada y del área afectada



Llegando a determinar que la tendencia de la densidad aparente tiende a incrementarse a medida que pasan los días siguientes al incendio. Estos valores coinciden con los encontrados por Casas (2019), quien manifiesta que la densidad aparente en el suelo afectado por el incendio se incrementó en 0.23 g cm^{-3} en los primeros 10 cm. Este incremento según Giovannini *et al.* (2001), es debido al colapso de los agregados y por la obstrucción de los poros del suelo por la ceniza.

4.1.4 Arena

Realizando un análisis comparativo de los porcentajes de arena entre el área no afectada y el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, se precisa que el porcentaje de arena se mantiene en 32% para las dos áreas.

Se determinó que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio, no afectó a la fracción de arena del suelo, manteniéndose en 32% tanto para el área no afectada como para el área afectada. Según Beyers *et al.* (2008), el contenido de arena presenta altos umbrales de temperatura y por lo general el fuego no los afecta, debido a su contenido de cuarzo y feldespatos resistentes a este factor.

4.1.5 Limo

Comparando los porcentajes de limo entre el suelo del área no afectada y del área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, el porcentaje de limo no muestra cambios y se mantiene en 35% para ambas áreas.

Se determinó que el incendio forestal no ocasiono cambios en la fracción de limo del suelo, manteniéndose en 35% tanto para el área no afectada como para el área afectada. Estos datos coinciden con los datos encontrados por Casas (2019), quien indica en su investigación

que el porcentaje de limo a 10 cm de profundidad se mantiene en 31% para ambos suelos. Según Beyers *et al.* (2008), para lograr afectaciones en la fracción limo se requerirían temperaturas superiores a los 1.414 °C, situaciones que raramente se presentan.

4.1.6 Arcilla

El comparativo de los porcentajes de arcilla entre el suelo del área no afectada y del área afectada, nos da a conocer que el porcentaje de arcilla se mantiene en 33%. Según Granged (2011), indica que la razón de que la fracción de arcilla no se vea afectada por los cambios de temperatura producidos durante un incendio forestal, es debido a que el contenido de arcilla previo al incendio era relativamente bajo, de modo que no se muestran cambios apreciables.

El análisis entre el área sin quemar y el área quemada, nos da conocer que la fracción de arcilla en el área quemada se mantienen igual que en el área sin quemar. A lo que se determinó que el incendio forestal no ha ocasionado alteraciones en la fracción de arcilla, esto es posiblemente a que presenta altos umbrales de temperatura y el fuego no lo afecta.

4.1.7 Clasificación textural

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 4, la clasificación textural del área no afectada y del área afectada a una profundidad de 0 a 10 cm se mantiene igual, presentando una clase textural franco arcilloso. Por lo que se determinó, que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio no afectó a esta propiedad del suelo.

Rosero y Osorio (2013) mencionan que los componentes de las distintas fracciones texturales del suelo (arena, limo y arcilla) no suelen ser afectadas por el fuego a menos que sean sometidos a altas temperaturas. La fracción textural más sensible es la arcilla, que inicia a verse afectada cuando la temperatura del suelo alcanza entorno a los 400°C, momento en que

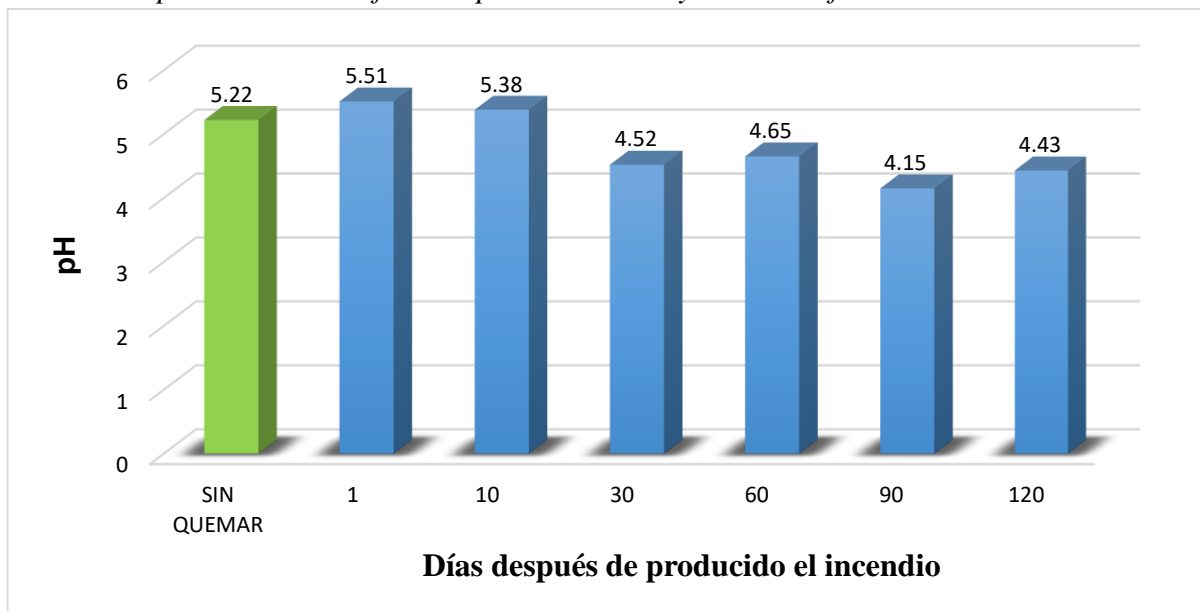
su hidratación disminuye y la estructura cristalina comienza a colapsar. Los otros componentes (arena y limo), poseen temperaturas de fusión en torno a 1400°C.

4.1.8 pH

El pH del suelo, a través de las secuencias de tiempo en que se ha realizado los análisis comparativos posteriores al incendio, ha ido variando desde moderadamente ácido, muy fuertemente ácido hasta extremadamente ácido como se muestra en la Figura 3, encontrándose rangos de 4.15 – 5.51. Lo que nos indica que el incendio forestal ha ocasionado modificaciones en el pH, observando que en los 10 primeros días después del incendio se produjo un incremento de pH, esto se da porque se produce la incorporación de cenizas con carácter alcalino; pero, en las fechas posteriores notamos que el pH disminuye y esto es debido a que la lluvia disuelve los cationes que se encuentran en la ceniza.

Figura 3

Valores del pH del área no afectada por el incendio y del área afectada



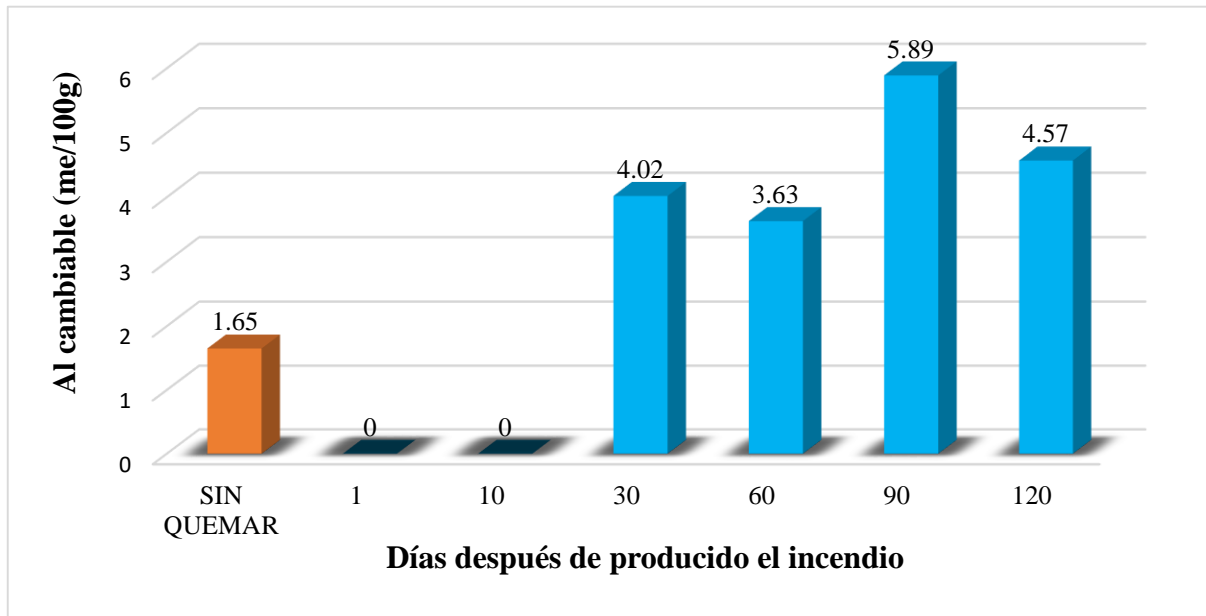
Giovannini *et al.* (2001) y Mills (2007) después de un incendio, el valor del pH sufre un ligero y progresivo aumento, lo que favorece la disponibilidad de los nutrientes; este incremento del pH se debe principalmente a la aportación de cationes en las cenizas y a las bases cambiables provenientes del material orgánico calcinado. Otros autores como (Montorio *et al.*, 2015) mencionan que los cambios se deben principalmente a la incorporación de las cenizas producidas por la quema de vegetación aumentando el pH debido a que estas contienen óxidos, hidróxidos y carbonatos. Sin embargo, por acción de la lluvia estos valores tienden a disminuir ya que los cationes que conforman la ceniza son disueltos produciendo un incremento de la acidez. Así mismo Certini (2005) menciona que los descensos del pH de los suelos afectados por el fuego, es debido a la desnaturalización de los ácidos orgánicos.

4.1.9 Aluminio cambiante

Luego del análisis comparativo, observamos que el Al cambiante durante los 10 primeros días muestra un valor de 0 meq/100 g; pero en las fechas siguientes muestra un incremento y esto se da porque está estrechamente relacionado con el pH. Como mencionan (Camargo *et al.*, 2012) y Alva y Manosalva (2019), la acidez del suelo está estrechamente relacionada con el Al^{+3} cambiante y observando la Figura 3, el pH del suelo del área afectada decrece, lo que ocasiona el incremento del catión Al^{+3} .

Figura 4

Contenido del aluminio cambiante (Al^{+3}) del área no afectada y del área afectada

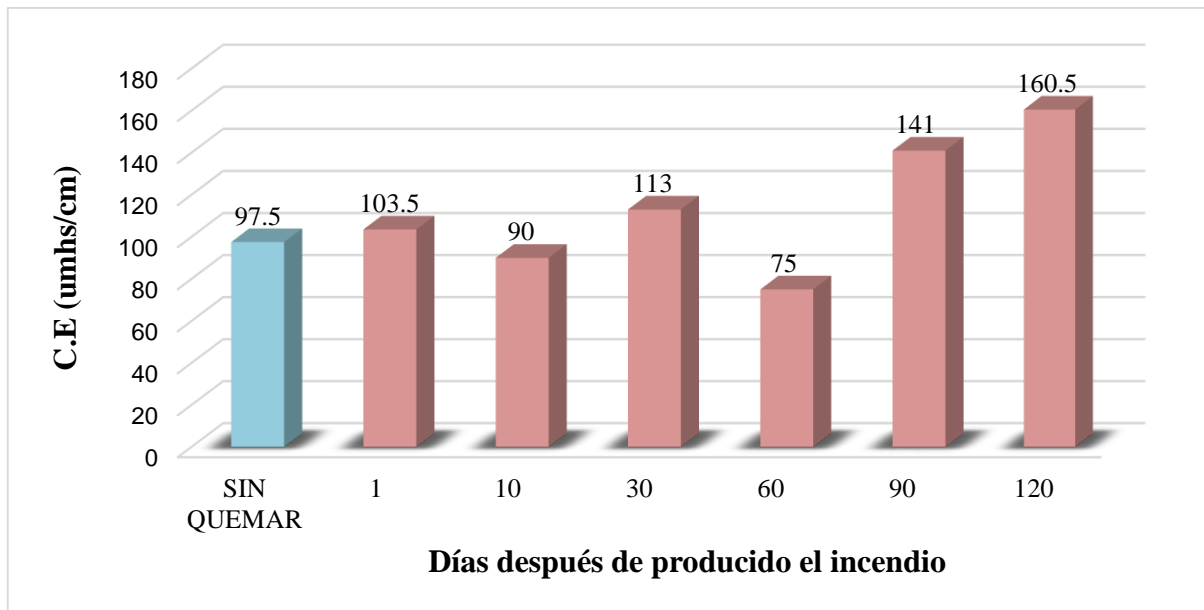


4.1.10 Conductividad eléctrica

En los resultados de la conductividad eléctrica del suelo del área no afectada y del área afectada como se muestra en la Figura 5, se observa que después de 1 día de producido el incendio hay un aumento de 6 umhs/cm; a los 10 días disminuye en 7.50 umhs/cm; a los 30 días se incrementa 15.5 umhs/cm; a los 60 días disminuye en 43.5 umhs/cm y a los 120 días se muestra un incremento de 63 umhs/cm con respecto al suelo del área sin quemar. Determinando que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio ha sido de temperatura moderada de 300 a 400°C, ya que la conductividad eléctrica tiende a incrementarse a través del tiempo.

Figura 5

Valores de la conductividad eléctrica del área no afectada y del área afectada



Estos cambios, según Hernández et al. (1997) y Terefe et al. (2008) se dan luego de producido un incendio forestal de temperaturas moderadas, la conductividad eléctrica del suelo tiende a incrementarse notablemente por la adhesión de sales solubles procedentes de la combustión de la materia orgánica. Este aumento es debido a la reducción de ácidos orgánicos y al aporte de cenizas con carácter alcalino.

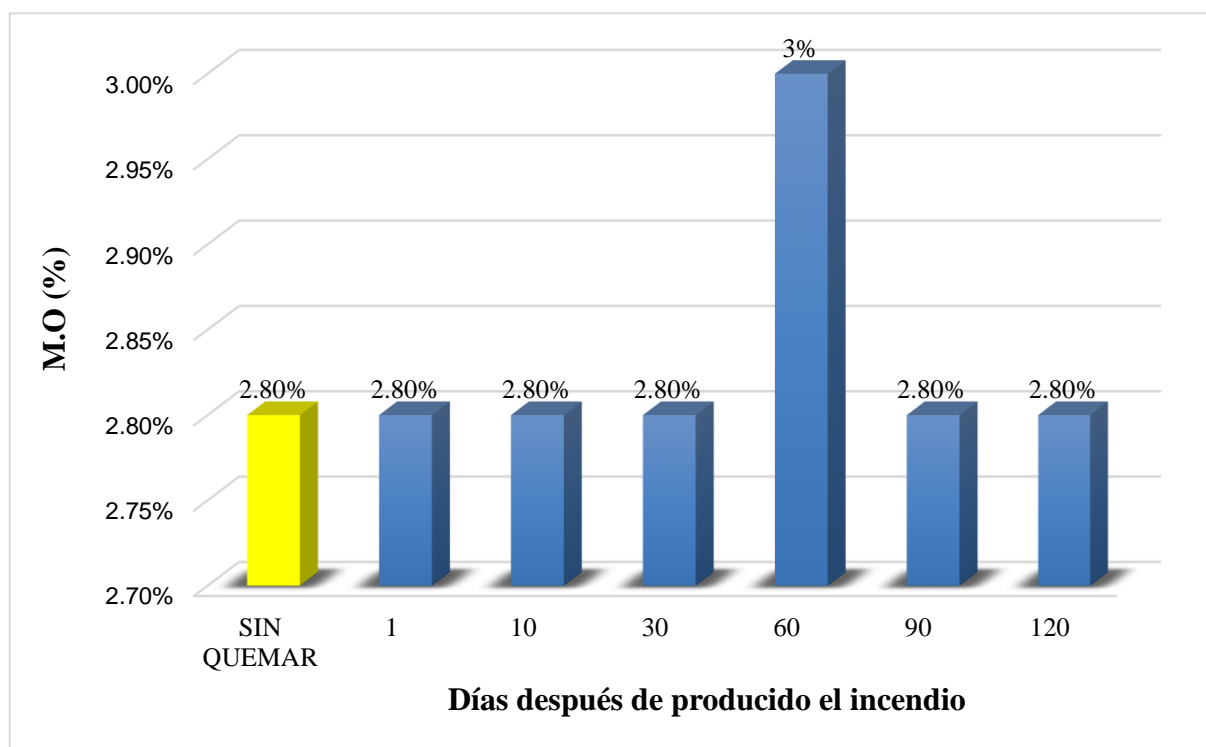
Solera y Artemy (2009) mencionan que la conductividad eléctrica (CE) del suelo nos indica la concentración de sales solubles. Al igual que el pH, ésta suele aumentar como consecuencia de la solubilización de compuestos procedentes de las cenizas, pero estos valores pueden retornar a los valores presentados antes del incendio e incluso presentar valores más bajos luego de 12 a 24 meses.

4.1.11 Materia orgánica

La Figura muestra que la materia orgánica del suelo del área no afectada y del área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, a 1, 10, 30, 90, y 120 días la se mantiene en 2.80%, igual que el suelo sin quemar, solo a los 60 días tiende a incrementarse parcialmente en 0.02%.

Figura 6

Contenido de materia orgánica del área no afectada y del área afectada



Lo que nos permite determinar que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio, ha ocasionado un incremento efímero de la materia orgánica a los 60 días. Este aumento se debe a la incorporación de ceniza y materia orgánica parcialmente quemada proveniente de los restos vegetales.

Según Cáceres (2018) el fuego tiene poco efecto en la materia orgánica, pues, fuegos de poca intensidad no generan temperaturas suficientemente altas por periodos suficientemente

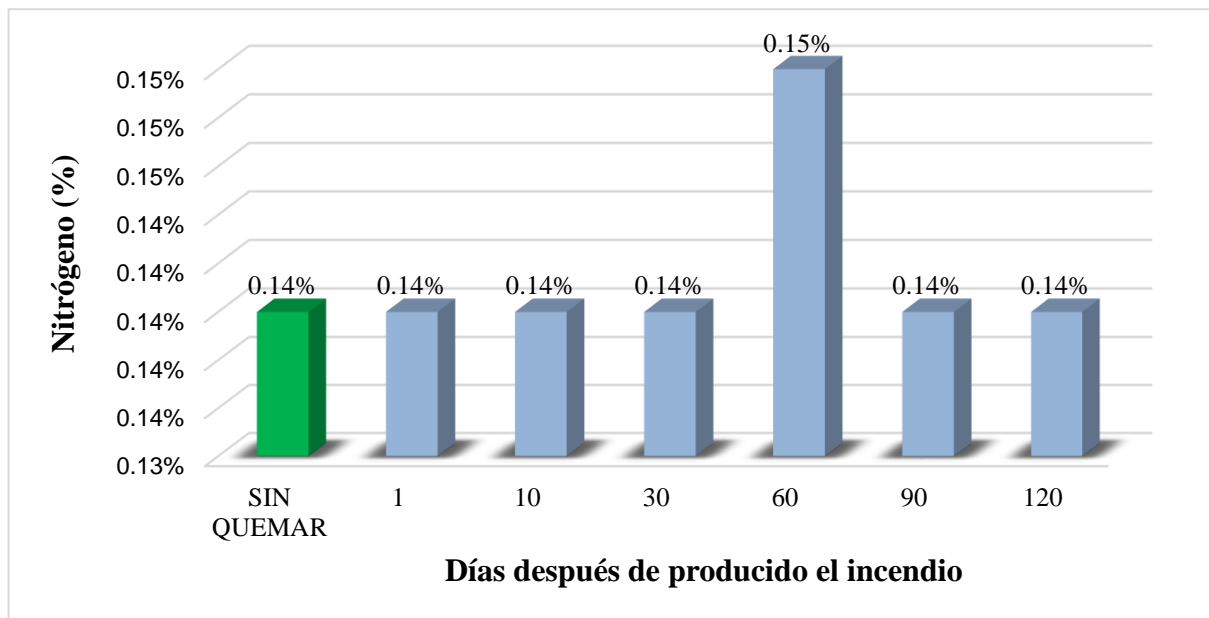
largos propiciando así la acumulación de combustible forestal en forma de cenizas sobre el suelo. De modo similar Samaniego (2013) menciona que los cambios en la cantidad de materia orgánica de un suelo forestal que ha sido afectado por un incendio varían de acuerdo a la intensidad, en incendios de baja intensidad el porcentaje de materia orgánica del suelo tiende a incrementarse por la incorporación de material vegetal.

4.1.12 Nitrógeno total

En los resultados obtenidos entre el área no afectada y el área afectada a una profundidad de 0 a 10 cm, se ve que a 1, 10, 30, 90, y 120 días el nitrógeno se mantiene en 0.14%, igual que el suelo sin quemar, solo a los 60 días el nitrógeno se incrementa a 0.15%.

Figura 7

Contenido de nitrógeno del área no afectada y del área afectada



Se observa que hubo un incremento temporal de 0.01% de nitrógeno total a los 60 días en comparación al suelo sin quemar, a lo que se determinó que el incendio forestal en el centro

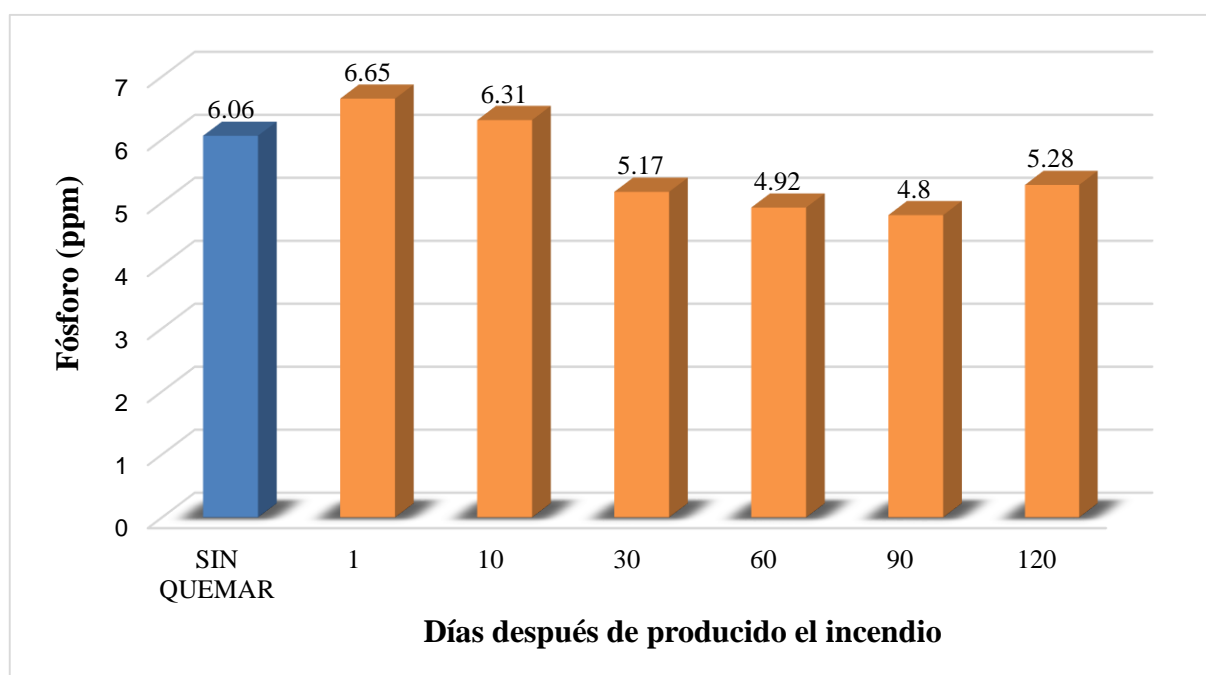
poblado El Lirio generó cambios muy leves en dicho elemento. Según Afif y Oliveira (2006) registraron un aumento del nitrógeno total después de un incendio forestal, indicando que este aumento podría estar relacionado con el incremento de materia orgánica en las áreas quemadas. Así mismo Solera y Artemy (2009) mencionan que en incendios de baja intensidad se han observado incrementos de nitrógeno por la incorporación de materiales semipirolizados al suelo.

4.1.13 Fósforo disponible

Al realizar la comparación, después de 1 día de producido el incendio forestal, el fósforo disponible muestra un incremento de 0.59 ppm, a los 10 días se incrementa en 0.25 ppm con respecto al área no afectada; posteriormente a los 30 días disminuye en 0.89 ppm, a los 60 días disminuye en 1.14 ppm, a los 90 días disminuye en 1.26 ppm y a los 120 días disminuye en 0.78 ppm.

Figura 8

Concentración del fósforo disponible del área no afectada y del área afectada



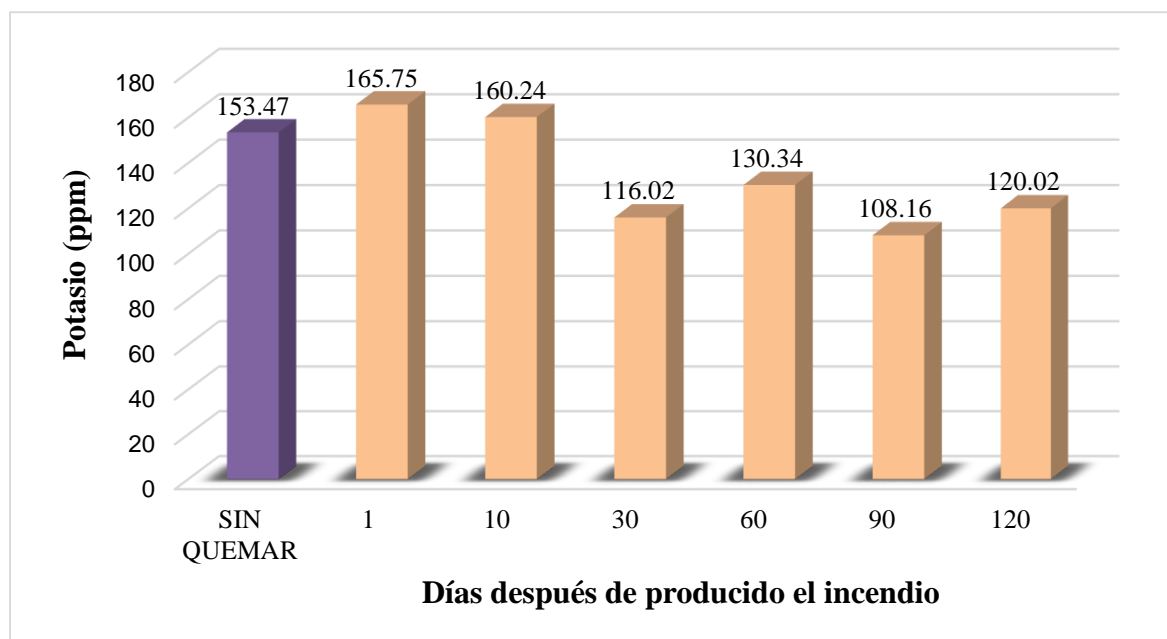
Según la Figura 8, el incendio forestal ha afectado al contenido de fósforo disponible ya que en los 10 primeros días se mostró un incremento. Según Cáceres (2018) la concentración de fósforo disponible en el suelo aumenta debido a la acumulación de cenizas generadas por la combustión de la vegetación. Pero a los 30, 60, 90 y 120 días, se presenta una disminución en relación al área sin quemar. Según Afif & Oliveira (2006), y (Capulín et al., 2010) mencionan que el aumento de fósforo en el suelo luego de un incendio forestal es efímero, pues la concentración de fósforo disponible depende de la mineralización, que a su vez depende de la actividad microbiana ubicada en la rizósfera, que disminuye luego de un incendio.

4.1.14 Potasio disponible (K)

En el análisis entre el área no afectada y el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, se observa que el potasio disponible (K) después de 1 día de producido el incendio muestra un aumento de 12.28 ppm, a los 10 días hay un aumento de 6.77 ppm con respecto al área no afectada; en las fechas siguientes vemos que la concentración del potasio disponible (K) inicia a disminuir con respecto al área no afectada, es así que a los 30 días disminuye en 37.45 ppm, a los 60 días disminuye en 23.13 ppm, a los 90 días disminuye en 45.31 ppm y a los 120 días disminuye en 33.45 ppm.

Figura 9

Contenido de potasio del área no afectada y del área afectada



Se determinó que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio, ha afectado al potasio disponible (K), ya que este elemento muestra variación, observando un incremento en los 10 primeros días, pasando lo contrario a los 30, 60, 90, 120 días donde disminuyó su concentración con respecto al área no afectada y esto es debido a la lixiviación y falta de cobertura vegetal.

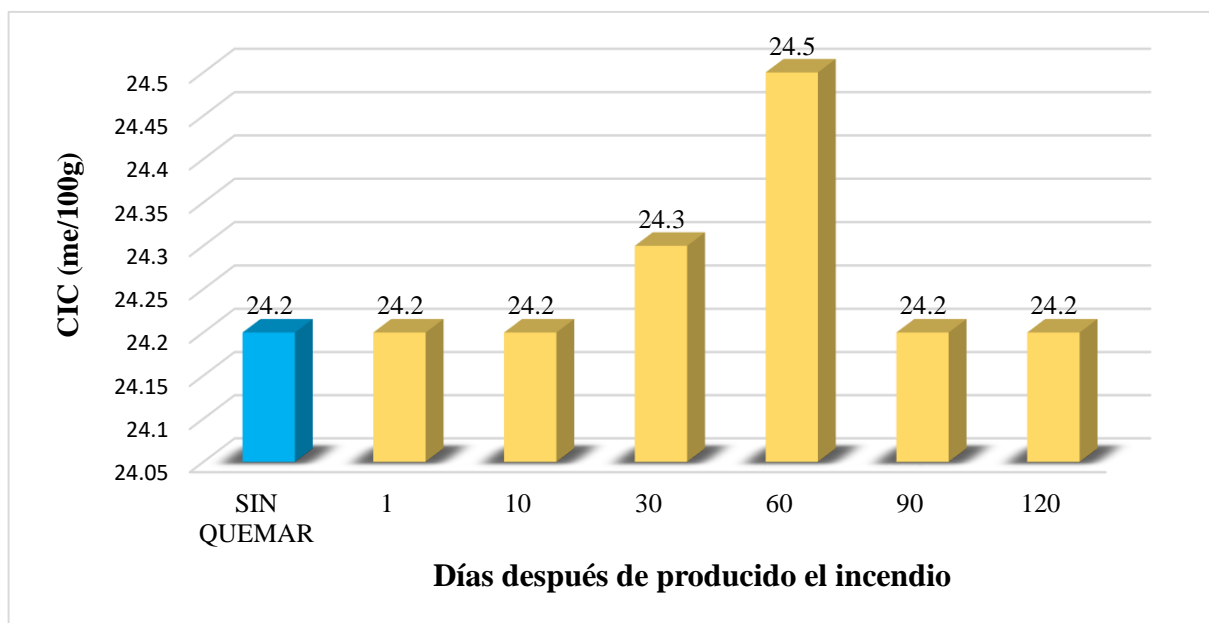
Según (Valdés et al., 2016) y Úbeda (2001) el aumento en la concentración de potasio disponible se atribuye principalmente a la incorporación de cenizas que es fuente de potasio. Sin embargo, Vargas (2007) señala que después de un incendio el potasio inicia a disminuir debido a la lixiviación por el efecto de las lluvias post-incendio, ya que este elemento posee un bajo grado de fijación en la fracción arcillo-húmico (humus).

4.1.15 Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo a la Figura, en el área no afectada y en el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, se observa que a 1, 10, 90, y 120 días la capacidad de intercambio catiónico se mantiene en 24.2 meq/100 g, pero a los 30 días muestra un incremento de 0.1 meq/100 g y a los 60 días se incrementa en 0,3 meq/100 g. Por lo que se determinó que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio, afectó transitoriamente la capacidad de intercambio catiónico presentando un incremento a los 30 y 60 días.

Figura 10

Valores de la capacidad de intercambio catiónico del área no afectada y del área afectada



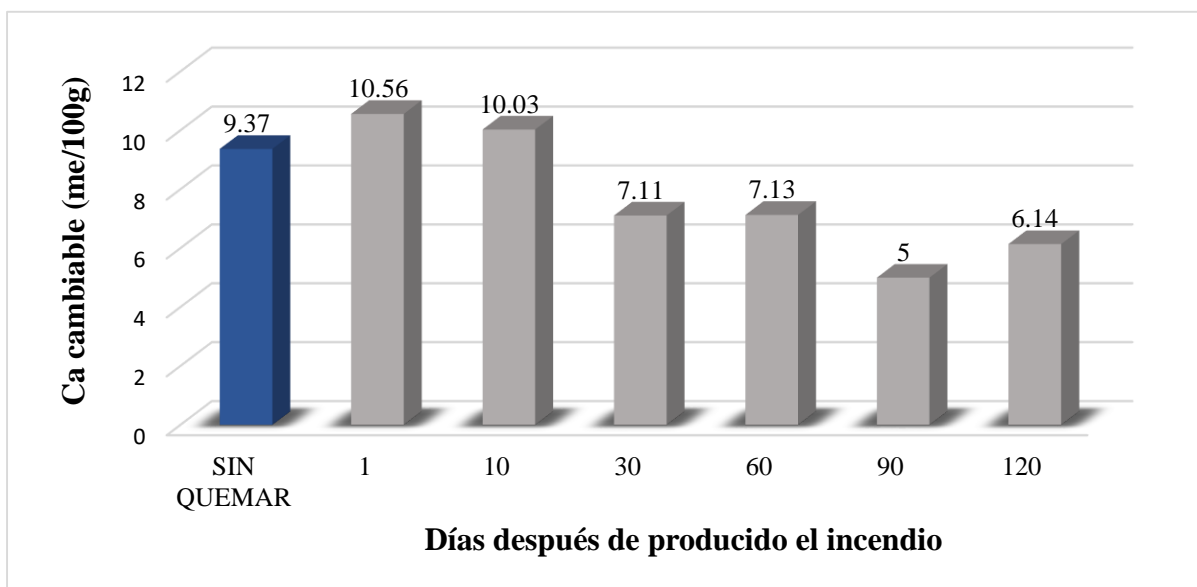
Según Alva y Manosalva (2019) y Casas (2019) la capacidad de intercambio catiónico está estrechamente relacionado con la materia orgánica ya que tienen el mismo comportamiento después de un incendio forestal; al comparar con la Figura 6, vemos que a los 60 días el porcentaje de materia orgánica muestra un incremento.

4.1.16 Calcio cambiabile

En la Figura, se observa que el calcio cambiabile después de 1 día de producido el incendio muestra un incremento de 1.19 meq/100 g, a los 10 días hay un incremento de 0.66 meq/100 g, pero a los 30 días disminuye en 2.26 meq/100 g, a los 60 días disminuye en 2.24 meq/100 g, a los 90 días disminuye en 4.37 meq/100 g y a los 120 días disminuye en 3.23 meq/100 g.

Figura 11

Valores del calcio cambiabile del área no afectada y del área afectada



Se determinó que después de los primeros días de producido el incendio forestal hubo un leve aumento en el contenido del calcio cambiabile, pero con el transcurrir del tiempo este contenido disminuye, esto es posiblemente a que en los incendios de baja intensidad el calcio cambiabile es retenido por el complejo absorbente que no ha sido arruinado, pero la parte destruida de la materia orgánica será fácilmente lavada con el pasar del tiempo, lo que disminuye el contenido de calcio. Según Afif & Oliveira (2006), Cáceres (2018) y Úbeda

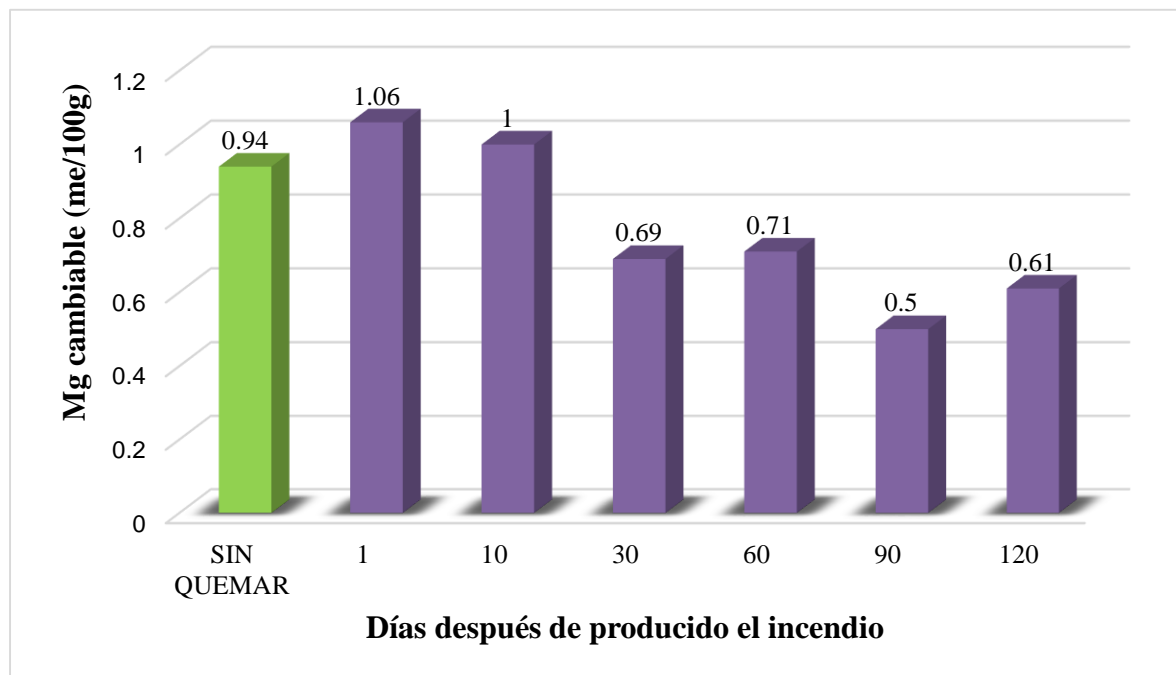
(2001) inmediatamente después de un incendio de mediana intensidad, se registra un leve aumento en el contenido de calcio del suelo. Mientras tanto Urretavizcaya (2010) menciona que la combustión de la materia orgánica libera calcio y magnesio en forma de óxidos solubles los cuales son fácilmente desplazados por el viento y por la escorrentía superficial.

4.1.17 Magnesio cambiabile

El análisis comparativo entre el área no afectada y el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad; nos da a conocer que el magnesio cambiabile después de 1 día de producido el incendio muestra un incremento de 0.12 meq/100 g, a los 10 de 0.06 meq/100 g, pero a los 30 días disminuye en 0.25 meq/100 g, a los 60 en 0.23 meq/100 g, a los 90 en 0.44 meq/100 g y a los 120 días en 0.33 meq/100 g.

Figura 12

Contenido de magnesio cambiabile del área no afectada y del área afectada



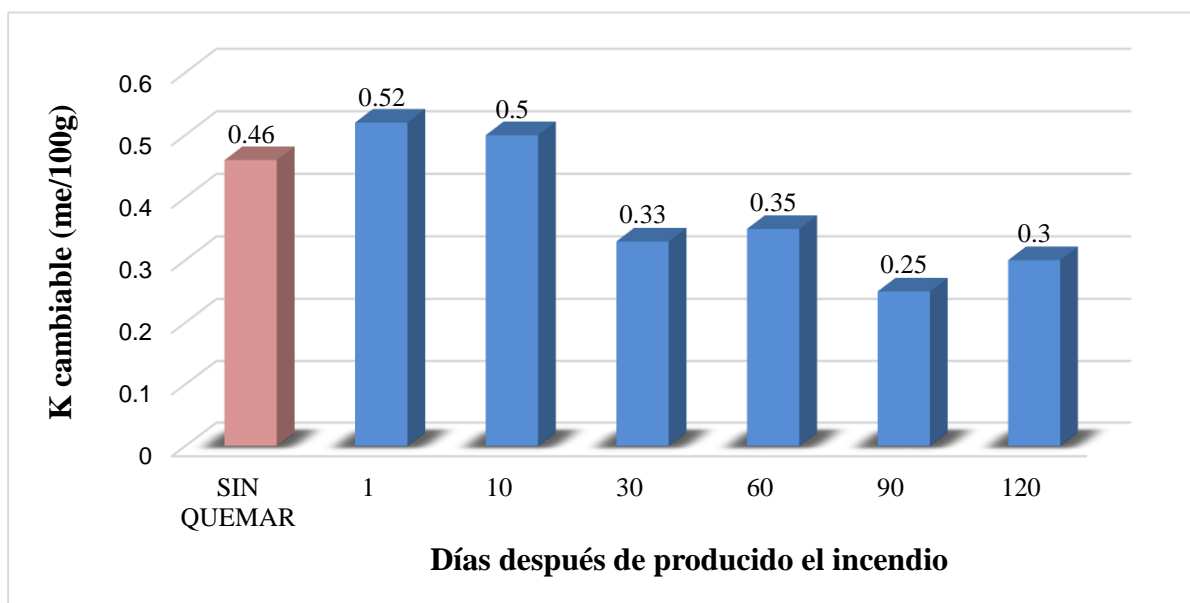
A través de los datos de la Figura, se determinó que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio, ha afectado al magnesio cambiabile, pues en los 10 primeros días se presenta un incremento del magnesio cambiabile, pero todo lo contrario pasa a los 30, 60, 90,120 días donde el potasio decrece notablemente en relación al área no afectada. Según Urretavizcaya (2010) la disponibilidad del magnesio aumenta inmediatamente luego de un incendio, sin embargo, a menos de tres meses este incremento puede desaparecer.

4.1.18 Potasio cambiabile

Los resultados del potasio cambiabile del área no afectada y del área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, muestran que el potasio cambiabile después de 1 día de producido el incendio aumenta en 0.06 meq/100 g, a los 10 días hay un incremento de 0.04 meq/100 g, pero en las fechas siguientes el potasio cambiabile se reduce, observando que a los 30 días disminuye 0,13 meq/100 g, a los 60 días disminuye 0.11 meq/100 g , a los 90 días disminuye 0.21 meq/100 g y a los 120 días disminuye en 0.16 meq/100 g en relación al área no afectada.

Figura 13

Contenido de potasio cambiabile del área no afectada y del área afectada



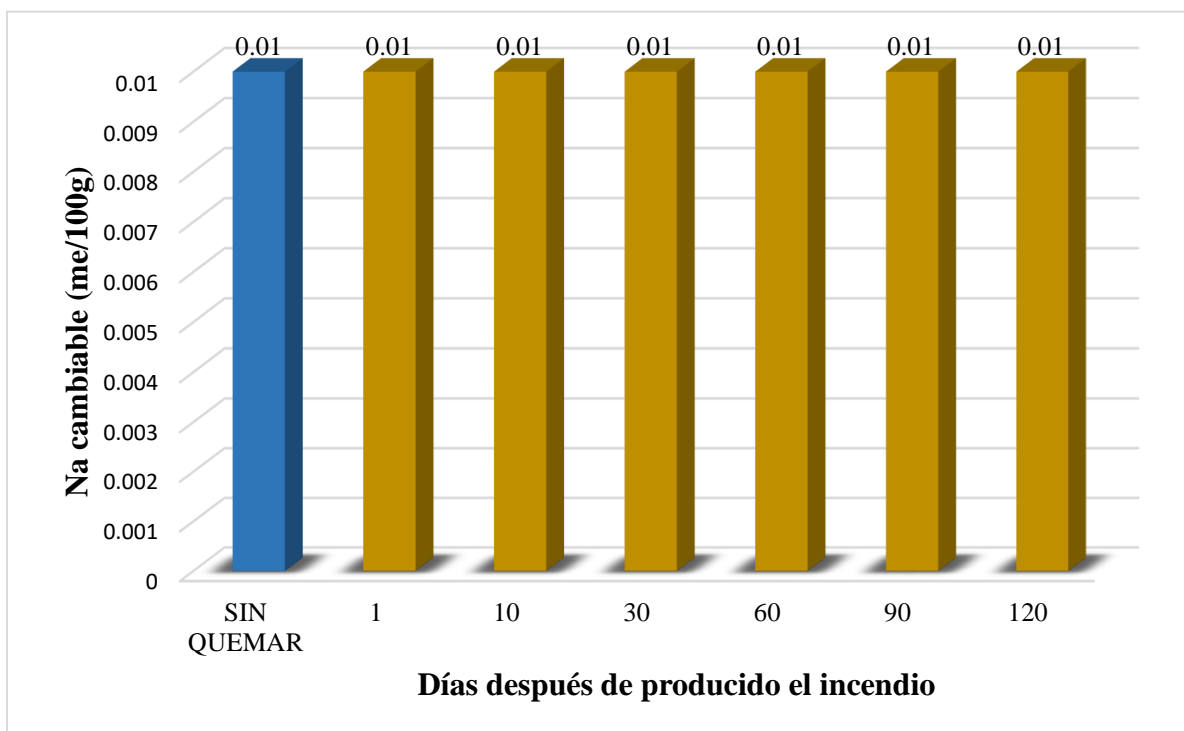
A través del análisis, se determinó que el incendio forestal afectó al potasio cambiante del suelo, mostrando un incremento en los 10 primeros días después del incendio, pasando lo contrario a los 30, 60, 90 y 120 días donde se muestra una disminución del potasio. Según Alva y Manosalva (2019) el incremento del potasio cambiante se debe al incremento de la ceniza producto de la combustión que a la vez es fuente de potasio para el suelo.

4.1.19 Sodio cambiante

A través del análisis comparativo entre área no afectada y el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, notamos que el sodio cambiante a 1, 10, 30, 60, 90 y 120 días se mantiene igual, sin mostrar cambios en relación al suelo sin quemar.

Figura 14

Comparación del sodio cambiante del área no afectada y del área afectada



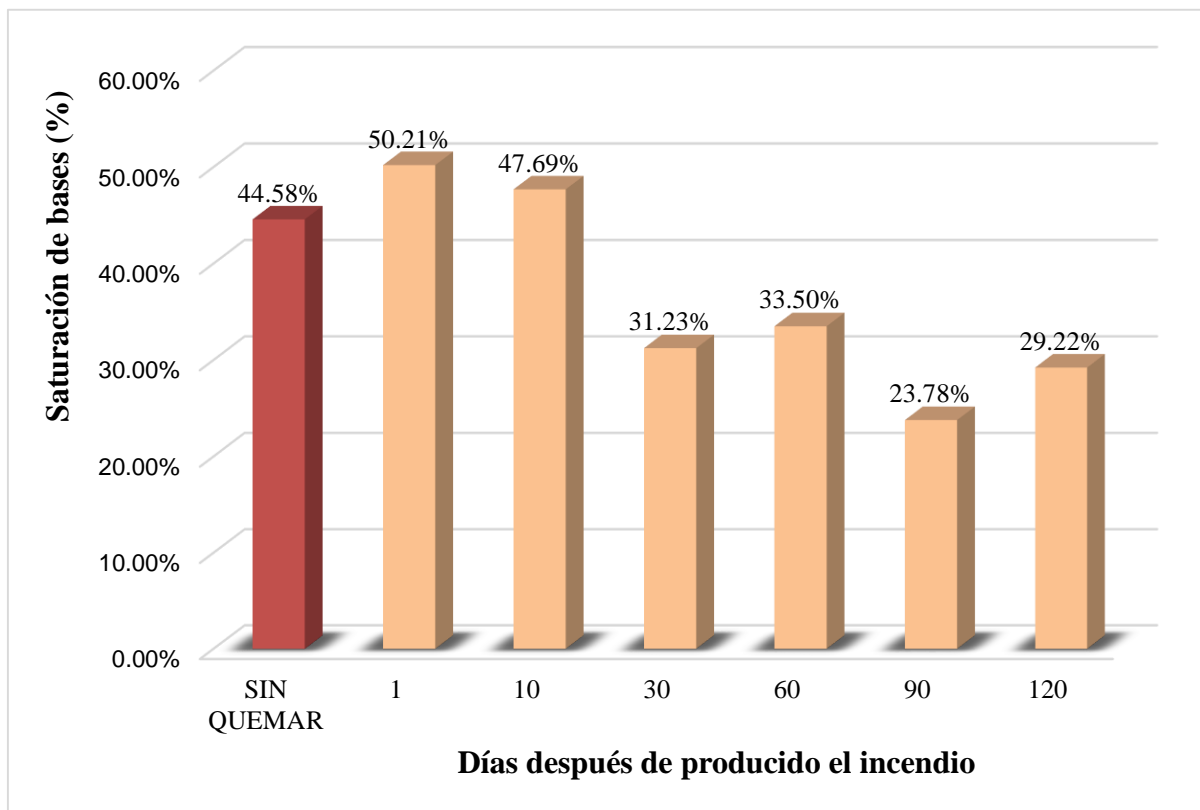
A lo que se determinó que el incendio forestal en el centro poblado El Lirio no afectó al sodio cambiante. Según Afif & Oliveira (2006) indican que no se registran cambios significativos en la concentración de sodio luego de un incendio forestal.

4.1.20 Saturación de bases

En la Figura vemos que la saturación de bases después de 1 día de producido el incendio muestra un incremento de 5.63%, a los 10 días hay un incremento de 3.11%, siguiendo la secuencia del tiempo notamos que a los 30 días disminuye 13.35%, a los 60 días disminuye 11.08%, a los 90 días disminuye 20.80% y a los 120 días disminuye 15.36% en relación al área no afectada.

Figura 15

Valores de la saturación de bases del área no afectada y del área afectada



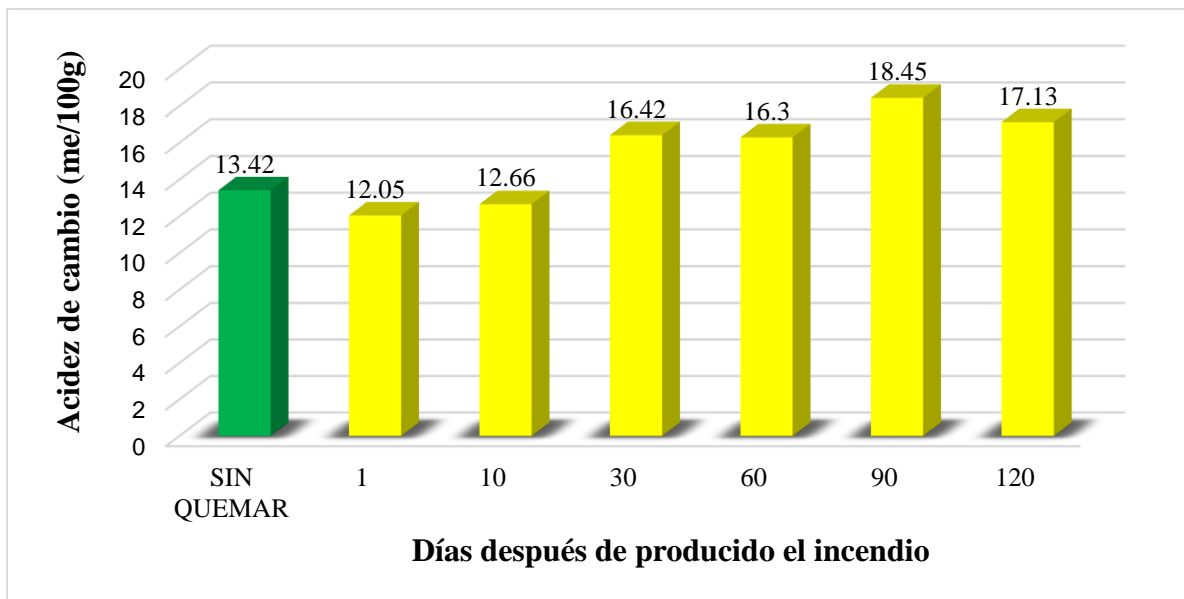
La saturación de bases es la fracción de los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo y se mide y se expresa como un porcentaje. Luego del análisis se observa que el incendio forestal afectó a la saturación de bases ya que vemos que en los 10 primeros días después del incendio se produce un incremento, pero a los 30, 60, 90 y 120 días el % de la saturación de bases disminuye, esto se da a causa de la lixiviación por las fuertes precipitaciones que existe en la zona. Según Granged (2011) los cambios en la saturación de bases son mayores cuando las bases son lixiviadas del suelo. Así mismo Domínguez (2016) menciona que al incrementarse la capacidad de intercambio catiónico la saturación de bases disminuye progresivamente, como consecuencia de la incorporación de los cationes básicos.

4.1.21 Acidez de cambio

Los resultados de la acidez de cambio en el área no afectada y en el área afectada de 0 a 10 cm de profundidad, muestran que la acidez de cambio después de un día disminuye 1.37 meq/100 g, a los 10 días disminuye 0.76 meq/100 g, pero a los 30 días se incrementa en 3 meq/100 g, a los 60 días se incrementa en 2.88 meq/100 g, a los 90 días se incrementa en 5.03 meq/100 g y a los 120 días se incrementa en 3.71 meq/100 g en relación al área no afectada.

Figura 16

Contenido de la acidez de cambio del área no afectada y del área afectada



Se observa que el incendio forestal ha ocasionado una disminución durante los 10 primeros días después del incendio, pero después a los 30, 60, 90 y 120 días se muestra un incremento de la acidez cambiante. Como mencionan Camargo et al (2012) y Alva y Manosalva (2019) la acidez del suelo está estrechamente relacionada con la suma de H^+ más el Al^{+3} cambiante. Observando la Figura 3, el pH del suelo quemado decrece lo que ocasiona un incremento de los cationes Al^{+3} y H^+ .

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En relación con las propiedades físicas del suelo del área no afectada por el incendio forestal, el color en seco es 10 YR 4/4 (amarillento oscuro) y el color en húmedo es 10 YR 3/3 (marrón oscuro); la estructura es de bloques subangulares de clase finos a medios de grado 2; la textura es franco arcilloso y la densidad aparente es 0.80 g cm^{-3} .

Con respecto a las propiedades físicas del suelo después de 1, 10, 30, 60, 90 y 120 días de producido el incendio, los efectos del incendio producen variación en el color ya que el suelo sin quemar es 10 YR 4/4 (amarillento oscuro) y en el suelo quemado es 10 YR 4/3 (marrón oscuro), la densidad aparente muestra una tendencia de incremento en 0.06 gcm^{-3} . En la estructura y la textura no se presentan cambios.

En relación a las propiedades químicas del área no afectada por el incendio forestal, el pH es de 5.22 unidades, la conductividad eléctrica es de 97.5 umhs/cm , la materia orgánica es de 2.80%, el nitrógeno es de 0.14%, fósforo es de 6.06 ppm, el potasio es de 153.47 ppm y la capacidad de intercambio catiónico es de 24,2 meq/100 g.

Las propiedades químicas que sufrieron un incremento luego de ser afectadas por el fuego fueron: la conductividad eléctrica en 63 umhs/cm , la materia orgánica en 0,02%, el nitrógeno en 0.01% y la capacidad de intercambio catiónico en 0.03 meq/100 g. Las propiedades químicas que sufrieron un descenso fueron: el pH en 1.07 unidades, el fósforo en 1,26 ppm y el potasio en 45.31 ppm

5.2. Recomendaciones

Se recomienda continuar con los estudios sobre los efectos que producen los incendios forestales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que los cambios varían de

acuerdo a la intensidad y severidad del fuego, con el fin de obtener más datos que aporten a la ciencia sobre este importante tema.

Se recomienda realizar evaluaciones a los 6 meses, 1 año y 2 años, de la dinámica que presentan los suelos después de un incendio forestal en plantaciones forestales en el centro poblado El Lirio como en otros casos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, D; Manosalva, H. 2019. Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Cajamarca, Perú. Universidad Privada del Norte. 90 p. Consultado el 28 ago. 2019. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21088/Alva%20Mendoza%20Denisse%20Milagros%20%20Manosalva%20Caruajulca%20H%c3%a9ctor%20Iv%c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benavides, J. 2009. Efecto del fuego en la regeneración natural de ecosistemas forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Mundi- Prensa. P.141-152.
- Beyers, J., Brown, J., Busse, M., Debano, L., Elliot, W., Folliott, P. et al. (2008). Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water. Lincoln: University of Nebraska, United States Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station.
- BODÍ, M. B., DOERR, S. H., MATAIX-SOLERA, J. y CERDÀ, A. (2008): «El papel del fuego en los ecosistemas terrestres». V Congreso «La investigación ante la sociedad del conocimiento». Sostenibilidad y Medio Ambiente. Escuela politécnica superior de Alcoi, UPV, 331-335.
- Cáceres, J. 2018. Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo (en línea). Tesis Ing. Huancayo, Perú. Universidad Continental. 143 p. Consultado el 15 de oct. 2019. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4645/4/IV_FIN_107_TE_Caceres_Lopez_2018.pdf
- Camargo, G; Dosman, M; Galvis, Q. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia (en línea).

- Revista Redalyc, Acta Agronómica, vol. 61, n°. 2, 2012, pp. 151-165. Consultado el 10 dic. 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169925874010>.
- Capulín- Grande, J., Mohedano Caballero, L., & Razo Zarate, R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87
- Casas, M. 2019. Efecto del incendio forestal en las propiedades físicas y químicas del suelo en Huacraruco – Cajamarca (En línea). Tesis Ing. Cajamaraca, Perú. Universidad Nacional De Cajamarca. 88 p. consultado el 05 de jul. 2019. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3086/INCENDIO%20HUACRARUCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, P. P. (2010). *Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global*. Universidad de Chile , Chile .
- Castillo, M; Pedernera, P; Peña, E. 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*, 19(3), 44-53.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest: a review. *Oecologia* 143 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2002. Informes finales estadísticos de temporadas. Programa de Manejo del Fuego. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile.
- Correa, F. d. (2021). *Estudio de la estructura, materia orgánica y microfauna de suelos impactados por incendios forestales 2010 – 2020: una revisión de la literatura científica*. Universidad Privada del Norte , Cajamarca .
<https://hdl.handle.net/11537/26305>
- Díaz, E; Roldán, A; Lax, A; Albaladejo, J. 1994. Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma*, 63: 277-288.

(DNCC), D. N. (2020). *Impacto de los incendios rurales y forestales en la biodiversidad*.

(DNCC), Dirección Nacional de Cambio Climático.

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

(FAO), O. d. (2015). *Incendios Forestales*. Universidad Agraria la Molina , Lima .

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2019.

Propiedades físicas (en línea). Consultado el 20 oct. 2019. Disponible en:

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2019.

Propiedades Químicas (en línea). Consultado el 20 oct. 2019. Disponible en:

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Fernández, I; Morales, N; Olivares, L; Salvatierra, J; Gómez, M; Montenegro, G. 2010.

Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales.

Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Dirección de Investigación y Postgrado,

Dirección de Extensión.

Fernández, I. 1997. Influencia de los incendios forestales sobre la materia orgánica edáfica (en

línea). Tesis Dr. Santiago de Compostela, Galicia, España. Universidad de Santiago de

Compostela. 322 p. Consultado el 20 de noviembre del 2019. Disponible en:

http://digital.csic.es/bitstream/10261/103090/1/incendios_forestales_Fernandez.pdf

Flores, J. 2009. Impacto ambiental de los incendios forestales. México. Mundi Prensa México,

S.A. DE C.V. 325 p.

- Granged, A. 2011. Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e inducidos experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio. (En línea). Memoria para optar el grado de doctor. Sevilla - España. Universidad de Sevilla. 181 p. Consultado el 15 de dic. 2019. Disponible en: https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/72763/file_1.pdf?sequence=1
- Giovannini, G; Vallejo, R; Lucchesi, S; Llovet, J. 2001. Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry mediterranean conditions. *Forest ecology and management*, 147 p.
- Gonzalez, J; Fernandez, M; Gimeno, G. 1992. Efecto de los incendios forestales sobre el suelo. *Suelo y Planta*. 72-79.
- González, F. 2009. Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. Cátedra de divulgación de la ciencia. (En línea). Valencia. Disponible en: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Transformaci%C3%B3n_materia%20org%C3%A1nica.pdf
- Guerrero, C. 1998. Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante, 93 p.
- Hernández, J. 2000. Manual de Métodos y Criterios para la Evaluación y Monitoreo de la Flora y la Vegetación. 37 p.
- Hernandez, T; Garcia, C; Reinhardt, I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of mediterranean pine forest soils. *Biology and fertility of soils*. 109 – 116 p.

- Huaman Cardenas, L. D. (2018). Efecto de la quema en las propiedades fisicoquímicas de un suelo agrícola en el distrito de Sincos, Jauja, 2018. Universidad Continental , Huancayo . <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11421>
- INDECI. (2016). *Incendios Forestales*. Peru.
- Jaksic, F; Fariña, J. 2015. Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. In Anales del Instituto de la Patagonia Vol. 43, Nº 1, p. 23-34.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo (en línea). Universidad Nacional de Colombia. 619 p. Consultado el 19 oct. 2019. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- León, H. 2004. Los incendios forestales en el Perú: Grave problema por resolver. Floresta 34 (2) Curitiba, pp. 179-186.
- López, D; Hernández, I; Guerere, I. 2008. Cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo de una sábana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años (En línea). Revista. Venezuela. Universidad centroccidental Lisandro Alvarado Varquisimeto. Consultado el 03 de jul de 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85714153001>. ISSN 1316-3361.
- Manta, M. 2007. Evaluación de las causas naturales y socioeconómicas de los incendios forestales en América del Sur. 4º Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Wildfire 2007. Sevilla. España. 17p.
- Martínez-Becerra.M. P. Ramos-Rodríguez, I. C.-M.-V., & R, S.-S. (2010). Efectos de quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet, en cuba. *Chapingo*, 2(5).
- Merche B. Bodí, A. C.-S. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *asociacion de geografos* , 2(3).

- Mills, G. 2007. Impacto de la quema controlada sobre los principales parámetros químicos del suelo. 5 p.
- MINAM (Ministerio del ambiente, PE). 2010. Línea base ambiental de cuencas de ríos. Lima – Perú. 166 p.
- Montorio, L; Pérez, C; Garcia, M. 2015. La severidad del fuego: Revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales (en línea). Geo ecología, cambio ambiental y paisaje: Homenaje al profesor José María García-Ruiz, 427-440 p. Consultado el 12 dic. 2019. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4854191.pdf>
- Munera, G; Meza, D. 2016. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal (en línea). Pereira, Colombia. 52 p. Consultado el 20 mar. 2019. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20f%20sforo%20elemento.pdf?sequence=1>
- Neary, D., K. Ryan, L. F. DeBano, J. Landsberg, and J. Brown. 2005. Introduction. Pp. 1-20 in D. Neary, K. Ryan, and L. F. DeBano (eds.). Wildland fire in ecosystems; effects of fire on soils and water. Gen Tech Rep, vol. 4. Forest Service, Rocky Mountain Research Station, U.S.D.A., USA.
- Nasi, R. D. (2010). *Los incendios forestales y la diversidad biológica*. Centro de Investigación Intyernacional .
- Rabanal Alva, J. L. (2021). *Efectos de la intensidad de quemado en las propiedades químicas en un suelo forestal en el caserío Conga de Urquí, Distrito Sucre, Provincia Celendín, Región Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca , Cajamarca . <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4541>
- Ramírez, R. 1997. Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos (en línea). Boletín Reg. 8 Col. 347-1997. Consultado el 20 oct. 2019. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

- Rojas Chavez, V. (2016). *Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después de la quema en dos tipos de uso del suelo en el distrito de Campo Verde 2014*. Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali.
- Rosero, J; Osorio, I. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, estado del arte (en línea). Revista Cuaderno activa. N° 05. 56-67 p. Consultado el 10 dic. 2019. Disponible en: <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/130/115>
- Rucks. 2004. Propiedades Físicas del Suelo (en línea). Montevideo, Uruguay. 68 p. Consultado el 19 set. 2019. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44190787/propiedades_fisicas_d_el_suelo.pdf?awsaccesskeyid=akiaiwowyygz2y53ul3a&expires=1553055730&signature=fzupnn0cuf0vapqkh4stsmhp0lq%3d&responsecontentdisposition=inline%3b%20filename%3dfacultad_de_agronomia_universidad_de_la.pdf
- Ruiz, J. 2015. Incendios de vegetación (en línea). Guadalajara, México. 53 p. Consultado el 16 oct. 2019. Disponible en: http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m1/M1_Incendios_v6_06_vegetacion/M1-Incendios-v6-06-vegetacion.pdf
- Solera, J. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribucion a su conservacion y regeneracion. Tesis Doctoral (ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 330 p.
- SERFOR, S. N. (2021). *prevencion y respuesta a incendios forestales en bosques tropicales y plantaciones*. Organizacion internacional de Maderas , Huanuco, Junin .
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2015). Incendios Forestales. Recuperado 8 de agosto de 2018, de cuidando el bosque / Incendios Forestales disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/cuidando-el-bosque/incendios-forestales>.

- Solera, J., & Artemy, C. (2009). Los incendios forestales y el suelo, un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. Dialnet ISBN 978-84-370-7653-9. 185-218 p.
- Solera, J; Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas (en línea). Ed. Alicante, España. Caja Mediterráneo, CEMACAM Font Roja. 36 p. Consultado el 15 oct. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge_MataixSolera/publication/229187257_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_las_propiedades_edaficas/links/0fcfd500835635e07c000000.pdf
- Solera, j; Cerda, A; Arcenegui, V; Jordán, A; Zavala, L. 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. Earth-Science Reviews, 109 p.
- Samaniego, C. 2013. Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. globulus en Huaraz (en línea). Tesis Ing. Huaraz, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 105 p. Consultado el 3 jul 2019 Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1762/K70-S187-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). 2016. Manual para control de incendios forestales (en línea). Cusco, Perú. 72 p. Consultado el 21 set. 2019. Disponible en: https://peru.fzs.org/files/6114/8469/0568/Anexo_1_Manual_Incendios.pdf
- Terefe, W; Mariscal, S; Gomez, M; Espejo, S. 2008.relationship between soil color and temperatura in the surface horizon of mediterranean soils: a laboratory study. 143 p.
- Tessler, N; Wittenberg, L; Greenbaum, N. 2016. Vegetation cover and species richness after recurrent forest fires in the Eastern Mediterranean ecosystem of Mount Carmel, Israel. Science of The Total Environment, 572, 1395-1402.

- Úbeda, X. 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8, 41-49.
- Ulery, A; Graham, L. 1996. Forest fire effects on soil phyllosilicates in California. *Soil Science Society of America Journal* 60(1):309-315.
- Urretavizcaya, M. 2010. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina (en línea). *Bosque*, vol. 31, n° 2, 2010, 140-149 p. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Consultado el 04 de dic del 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1731/173116383007.pdf>
- Valdes, L; Martínez, L; Bonilla, M; Castillo, I. 2016. Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 60-65.
- Vargas, C. 2007. Estudio de la capacidad de intercambio catiónico en la recuperación de un suelo afectado por incendios forestales en el municipio de nemocón, cundimarca. (En línea). Proyecto de investigación para optar el título de ingeniera ambiental y sanitaria, Bogotá, Colombia. Universidad de la salle. 260 p. consultado el 22 de diciembre 2019. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15609/T41.07%20V426e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vázquez, F; Carballas, T. 1993. Soil microbial populations after wildfire. *FEMS Microbiol. Ecol.* 13, 93-104.

ANEXOS

Anexo 1 Procedimiento para determinar la densidad aparente

Valores obtenidos de la densidad aparente

Muestra	Método	Peso (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad aparente
Sin quemar	Probeta	50	62	0.80
A 1 día de quemada	Probeta	50	61	0.82
A 10 días de quemada	Probeta	50	61	0.82
A 30 días de quemada	Probeta	50	61	0.82
A 60 días de quemada	Probeta	50	58	0.86
A 90 días de quemada	Probeta	50	58	0.86
A 120 días de quemada	Probeta	50	58	0.86

Nota. Para calcular la densidad aparente se utilizó la ecuación

$$da = \frac{\text{peso del suelo seco}}{V1} \left(\frac{\text{g de suelo}}{\text{cm}^3 \text{ de suelo}} \right)$$

Anexo 2 Resultados del análisis de suelos

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/08/2019	Nº Registro	JD19-0015
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
	Parcela	SIN QUEMAR	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	5.22	Fuertemente ácido
Reacción potencial (pH)	4.42	-
Al cambiable (me/100g)	1.65	Medio
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	117.00	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	97.50	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	6.06	Bajo
K disponible (ppm)	153.47	Alto
C.C.C.(r) (me/100g)	24.20	Alto
Ca cambiable (me/100g)	9.37	-
Mg cambiable (me/100g)	0.94	-
K cambiable (me/100g)	0.46	-
Na cambiable (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	44.58	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	13.42	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Narvaez Tejada
Ing. Oscar Narvaez Tejada

CIP. 20175

Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/08/2019	N° Registro	JD19-0014
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
	Parcela	QUEMADA	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	5.51	Moderadamente ácido
Reacción potencial (pH)	4.63	-
Al cambiabile (me/100g)	0.88	Bajo
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	121.50	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	103.50	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	6.65	Bajo
K disponible (ppm)	165.75	Alto
C.C.C.(r) (me/100g)	24.20	Alto
Ca cambiabile (me/100g)	10.56	-
Mg cambiabile (me/100g)	1.06	-
K cambiabile (me/100g)	0.52	-
Na cambiabile (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	50.21	Medio
Acidez de cambio (me/100g)	12.05	Medio

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Narváez Tejada
Ing. Oscar Narváez Tejada
CIP. 20175

Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	19/08/2019	N° Registro	JD19-0016
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
Parcela	QUEMADA		
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	5.38	Fuertemente ácido
Reacción potencial (pH)	4.53	-
Al cambiante (me/100g)	1.20	Medio
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	111.00	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	90.00	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	6.31	Bajo
K disponible (ppm)	160.24	Alto
C.C.C.(r) (me/100g)	24.20	Alto
Ca cambiante (me/100g)	10.03	-
Mg cambiante (me/100g)	1.00	-
K cambiante (me/100g)	0.50	-
Na cambiante (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	47.69	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	12.66	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Narváez Tejada
Ing. Oscar Narváez Tejada

CIP. 20175

Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/09/2019	N° Registro	JD19-0017
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
	Parcela	QUEMADA	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	4.52	Muy fuertemente ácido
Reacción potencial (pH)	3.94	-
Al cambiabile (me/100g)	4.02	Muy alto
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (umohs/cm)	132.50	Libre de sales
C. E. actual (umohs/cm)	113.00	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	5.17	Bajo
K disponible (ppm)	116.02	Medio
C.C.C.(r) (me/100g)	24.30	Alto
Ca cambiabile (me/100g)	7.11	-
Mg cambiabile (me/100g)	0.69	-
K cambiabile (me/100g)	0.33	-
Na cambiabile (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	31.23	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	16.42	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Narvaez Tejada
Ing. Oscar Narvaez Tejada
CIP. 20175

Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/10/2019	N° Registro	JD19-0018
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
	Parcela	QUEMADA	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	4.65	Muy fuertemente ácido
Reacción potencial (pH)	4.00	-
Al cambiante (me/100g)	3.63	Muy alto
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	87.00	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	75.00	-
M.O. (%)	3.00	Medio
N total (%)	0.15	Medio
P disponible (ppm)	4.92	Bajo
K disponible (ppm)	130.34	Alto
C.C.C. (r) (me/100g)	24.50	Alto
Ca cambiante (me/100g)	7.13	-
Mg cambiante (me/100g)	0.71	-
K cambiante (me/100g)	0.35	-
Na cambiante (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	33.50	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	16.30	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Navarrete Tejada
Ing. Oscar Navarrete Tejada

CIP. 20175
Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)


RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/11/2019	N° Registro	JD19-0022
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
	Parcela	QUEMADA	
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr.Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	4.15	Extremadamente ácido
Reacción potencial (pH)	3.63	-
Al cambiabile (me/100g)	5.89	Muy alto
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	156.00	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	141.00	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	4.80	Bajo
K disponible (ppm)	108.16	Medio
C.C.C.(r) (me/100g)	24.20	Alto
Ca cambiabile (me/100g)	5.00	-
Mg cambiabile (me/100g)	0.50	-
K cambiabile (me/100g)	0.25	-
Na cambiabile (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	23.78	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	18.45	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.




Ing. Oscar Narvaez Tejada
CIP. 20175
Jefe de Laboratorio

Resultados del análisis de suelos



Tecnología y Desarrollo Agrícola J.D. S.R.L.

Urb. J. Hurtado Miller J - 8 (Baños del Inca)

RUC 20529318511

EVALUACION DE SUELOS			
Fecha	09/12/2019	N° Registro	JD19-0030
Usuario	LENIN VASQUEZ CAMPOS		
Procedencia de la muestra	Provincia	CHOTA	
	Distrito	CHALAMARCA	
	Comunidad	EL LIRIO	
	Predio	0	
Parcela	QUEMADA		
Nombre del cultivo	0		

Resultados de la Evaluación		
Determinaciones	Resultados	Clasificación
Arena (%)	32.00	Fr. Ar.
Limo (%)	35.00	
Arcilla (%)	33.00	
Reacción actual (pH)	4.43	Muy fuertemente ácido
Reacción potencial (pH)	3.84	-
Al cambiabile (me/100g)	4.57	Muy alto
Calcáreo total (%)	0.00	Bajo
C. E. (µmohs/cm)	181.50	Libre de sales
C. E. actual (µmohs/cm)	160.50	-
M.O. (%)	2.80	Medio
N total (%)	0.14	Medio
P disponible (ppm)	5.28	Bajo
K disponible (ppm)	120.02	Medio
C.C.C.(r) (me/100g)	24.20	Alto
Ca cambiabile (me/100g)	6.14	-
Mg cambiabile (me/100g)	0.61	-
K cambiabile (me/100g)	0.30	-
Na cambiabile (me/100g)	0.01	-
Saturación de bases (%)	29.22	Bajo
Acidez de cambio (me/100g)	17.13	Alto

NOTA: El presente análisis ha sido realizado con fines de abonamiento
La utilización para otros fines es responsabilidad del usuario.



Oscar Narvaez Tejada
Ing. Oscar Narvaez Tejada
CIP. 20175
Jefe de Laboratorio

Anexo 3 Panel fotográfico

Foto 1 Vista panorámica del área de estudio - bosque de pinos y eucalyptus en el centro poblado El Lirio



Foto 2 Evidencia del incendio forestal en el centro poblado El Lirio



Foto 3 *Midiendo profundidad de muestreo*



Foto 4 *Toma de submuestra*



Foto 5 Colecta de las sub muestras



Foto 6 Etiquetado de las muestras



Foto 7 Colocación de las muestras en la estufa a una temperatura de 105 °C por 24 horas



Foto 8 Muestras de suelo para determinar la densidad



Foto 9 Tamizado de la muestra



Foto 10 Determinamos el volumen de la muestra

