

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**EFFECTOS 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.**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por la Bachiller:

JHULIANA LIZETH RABANAL ALVA

Asesor:

Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA

CAJAMARCA - PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Norte de la Universidad Peruana
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los diez días del mes de noviembre del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 169-2021-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**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**", ejecutado(a) por la Bachiller en Ingeniería Ambiental, **RABANAL ALVA JHULIANA LIZETH** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las cuatro horas de la tarde, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado realizó la deliberación, para asignarle el calificativo correspondiente. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **Aprobación** por **Unanimidad**, con el calificativo de **diecisiete (17)**; por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

A las dieciséis con cincuenta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.


Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Edgar Darwin Díaz Mori
SECRETARIO


Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
VOCAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser mi guía en cada circunstancia de la vida y a mis queridos padres Moisés Rabanal Gutiérrez y María Alva Bringas quienes son lo más importante en mi vida, me brindan su amor, su apoyo y me han enseñado a ser perseverante para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a las personas que contribuyeron a que el presente trabajo se realice con éxito.

A Dios por darme sus bendiciones y dirigirme favorablemente en todo momento.

A mis padres porque son mi motivación y me dan su apoyo constante.

Al Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia por su excelente asesoramiento y orientación para la realización de este trabajo de investigación.

Al señor Anibal Galarreta por haberme permitido realizar parte del trabajo de investigación en el bosque de su propiedad.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas.....	4
2.3. Definición de términos básicos.....	10
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	11
3.1. Ubicación del área en estudio.....	11
3.2. Materiales.....	13
3.3. Metodología.....	14
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1. Descripción general de la zona y suelo del área de estudio.....	17
4.2. Propiedades químicas del suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	17
4.3. Análisis estadísticos.....	19
4.4. Análisis comparativo de las propiedades químicas del suelo sin quemar y del suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	20
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
5.1. Conclusiones.....	40
5.2. Recomendaciones.....	40
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
CAPITULO VII: ANEXOS.....	50
7.1. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina.....	51
7.2. Ficha de Campo.....	54
7.3. Análisis Estadístico.....	56
7.4. Panel Fotográfico.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Alteraciones en el suelo según la temperatura producida por el fuego.....	5
Tabla 2.	Vías de acceso al área de estudio	13
Tabla 3.	Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.	16
Tabla 4.	Descripción de los tratamientos en estudio.....	16
Tabla 5.	Propiedades químicas del suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.	18
Tabla 6.	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey.....	19
Tabla 7.	Análisis de varianza (ANOVA) para el pH.	56
Tabla 8.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el pH.	56
Tabla 9.	Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica	56
Tabla 10.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la conductividad eléctrica.....	57
Tabla 11.	Análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica.....	57
Tabla 12.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la materia orgánica	57
Tabla 13.	Análisis de varianza (ANOVA) para el fósforo disponible	58
Tabla 14.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el fósforo disponible.....	58
Tabla 15.	Análisis de varianza (ANOVA) para el potasio disponible.....	58
Tabla 16.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el potasio disponible.....	59
Tabla 17.	Análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno	59
Tabla 18.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el nitrógeno.....	59
Tabla 19.	Análisis de varianza (ANOVA) para la arena.....	60
Tabla 20.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la arena	60
Tabla 21.	Análisis de varianza (ANOVA) para el limo	60
Tabla 22.	Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el limo.....	61

Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para la arcilla	61
Tabla 24. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la arcilla	61
Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de intercambio catiónico	62
Tabla 26. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la C.I.C.	62
Tabla 27. Análisis de varianza (ANOVA) para el calcio (Ca^{+2}).....	62
Tabla 28. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el calcio (Ca^{+2}).....	63
Tabla 29. Análisis de varianza (ANOVA) para el magnesio (Mg^{+2}).....	63
Tabla 30. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el magnesio (Mg^{+2}).....	63
Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) para el potasio (K^{+}).....	64
Tabla 32. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el potasio (K^{+})	64
Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) para el Sodio (Na^{+})	64
Tabla 34. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el Sodio (Na^{+})	65
Tabla 35. Análisis de varianza (ANOVA) para el aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$)...	65
Tabla 36. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$).....	65
Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) para suma de cationes.....	66
Tabla 38. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la suma de cationes.....	66
Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA) para suma de bases	66
Tabla 40. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la suma de bases	67
Tabla 41. Análisis de varianza (ANOVA) para saturación de bases	67
Tabla 42. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la saturación de bases	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del área de estudio.....	12
Figura 2.	pH en el suelo sin quemar y en el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.	20
Figura 3.	Conductividad eléctrica en el suelo sin quemar y el suelo quemado	22
Figura 4.	Materia orgánica en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	23
Figura 5.	Fósforo en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.	25
Figura 6.	Potasio en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura	26
Figura 7.	Nitrógeno en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	27
Figura 8.	Arena en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura	28
Figura 9.	Limo en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura	29
Figura 10.	Arcilla en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura	30
Figura 11.	C.I.C. en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.	31
Figura 12.	Calcio (Ca^{+2}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	32
Figura 13.	Magnesio (Mg^{+2}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	33
Figura 14.	Potasio (K^{+}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	34
Figura 15.	Sodio (Na^{+}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	35
Figura 16.	Aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.	36
Figura 17.	Suma de cationes en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	37

Figura 18. Suma de bases en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	38
Figura 19. Saturación de bases en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.....	39
Figura 20. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 1	51
Figura 21. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 2	52
Figura 22. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 3	53
Figura 23. Ficha de campo correspondiente a la calicata S - 01	54
Figura 24. Ficha de campo correspondiente a la calicata S - 01	55
Figura 25. Área de estudio - bosque de Pinus patula en Surolaja, Sucre.	68
Figura 26. Examinación del suelo en la calicata S – 01.....	68
Figura 28. Toma de muestras	69
Figura 27. Medida de la profundidad del suelo para la toma de muestra.	69
Figura 29. Cuarteo de suelo	70
Figura 30. Horno cerámico a gas controlado con termocupla digital.	70
Figura 31. Muestras de suelo en el horno.	71
Figura 32. Muestra de suelo testigo.	71
Figura 33. Muestras de suelo quemado a 100 °C.....	72
Figura 34. Muestras de suelo quemado a 200 °C.....	72
Figura 35. Muestras de suelo quemado a 300 °C.....	73
Figura 36. Muestras de suelo quemado a 400 °C.....	73
Figura 37. Muestras de suelo quemado a 500 °C.....	74
Figura 38. Etiquetado de las muestras de suelo.	74

RESUMEN

Los incendios forestales en el Perú son frecuentes; Sin embargo, las consecuencias de ciertas temperaturas en las propiedades químicas del suelo son poco conocidas; por lo que, en la presente investigación se determinó 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) en un suelo forestal en el caserío Conga de Urquía, provincia Celendín. Las muestras del suelo en estudio fueron calentadas a 100°C, 200°C, 300°C, 400°C y 500°C por 30 minutos. El análisis químico de la muestra de suelo sin calentar (control) y de las muestras sometidas a diferentes temperaturas se realizó en el laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 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 respectivamente), fósforo disponible (9.95 ppm, 8.00 ppm respectivamente), catión K⁺ (0.06 meq/100g, 0.08 meq/100g respectivamente), limo (6 %, 7% respectivamente) y se amenoró las cantidades de pH (0.57 unidades, 0.3 unidades respectivamente), CIC (2.08 meq/100g, 4.24 meq/100g respectivamente), arena (7.00 %, 11.00 % respectivamente). A 400°C 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/100g), calcio (0.65 meq/100g), suma de cationes (2,37 meq/100g). 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.

Palabras Claves: Intensidad de quemado, propiedades químicas del suelo.

ABSTRACT

Forest fires in Peru are frequent. However, the consequences of certain temperatures on the chemical properties of the soil are poorly understood; Therefore, in the present investigation, the effects of burning intensity on chemical properties (pH, electrical conductivity, organic matter, available phosphorus, available potassium, carbonates, CEC, exchangeable cations and total nitrogen) in a forest soil were determined in Conga de Urquíá farmhouse, Celendín province. The soil samples under study were heated at 100°C, 200°C, 300°C, 400°C and 500°C for 30 minutes. The chemical analysis of the unheated soil sample (control) and the samples subjected to different temperatures were carried out in the soil, plants and fertilizers laboratory of the La Molina National Agrarian University. At 100 °C there were changes in two parameters, that is, the increase in available potassium (17.00 ppm) and the decrease in the pH values (0.28 units). At 200 °C and 300 °C the values of available potassium (20.50 ppm, 27.00 ppm respectively), available phosphorus (9.95 ppm, 8.00 ppm respectively), K⁺ cation (0.06 meq / 100g, 0.08 meq / 100g respectively), silt (6%), 7% respectively) and the amounts of pH (0.57 units, 0.3 units respectively), CEC (2.08 meq / 100g, 4.24 meq /100g respectively), sand (7.00%, 11.00% respectively) were lowered. At 400°C the electrical conductivity increases (0.48 dS / m), the sand fraction (1%) and the clay fraction (9%) decreases. The most significant changes occurred when the soil was burned at 500°C, reducing organic matter (4.36%), nitrogen (0.14%), CEC (10.56 meq /100g), calcium (0.65 meq /100g), sum of cations (2.37 meq /100g). It is concluded that high intensity fires produce negative changes in the soils due to the loss of certain nutrients, organic matter and other essential chemical properties of the soil.

Key Words: Burning intensity, chemical properties of the soil.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se presencia frecuentes incendios en los bosques de nuestro país. INDECI (2020) reportó 1377 incendios forestales en diversas regiones del país, siendo las más afectadas: Cusco, Ayacucho, Huancavelica y Junín; en cuanto al agro, 6150 hectáreas de cultivos sufrieron afectación en Junín, 3124 fueron destruidas en Huancavelica y 326 hectáreas en Cusco.

El fuego en bosques transfiere el calor hacia el suelo, logrando alcanzar altas temperaturas causando ciertos cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, que hasta la fecha han sido poco estudiados. Según Rosero y Osorio (2013), la estabilidad estructural, materia orgánica, pH, actividad biológica y los nutrientes del suelo son los parámetros más afectados por el fuego.

Debido a la importancia de conocer los cambios que ciertas temperaturas producen en el suelo, la presente investigación tuvo como objetivo general 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) en un suelo forestal en el caserío Conga de Urquí, distrito Sucre, provincia Celendín, región Cajamarca; y como objetivos específicos: a) Determinar las propiedades químicas del suelo forestal no quemado, b) Determinar las propiedades químicas del suelo forestal sometido a diferentes intensidades de quemado (100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C) y c) Realizar la comparación de las propiedades químicas de los diferentes tratamientos experimentales. Se planteó como hipótesis de investigación que la intensidad de quemado altera significativamente a las propiedades químicas del suelo forestal. El diseño experimental efectuado es el diseño completamente al azar con seis tratamientos y dos repeticiones; del área de estudio se tomaron al azar 15 submuestras de suelo de los primeros 10 cm de profundidad para luego formar una muestra compuesta, posteriormente las muestras de suelo fueron calentadas a temperaturas de 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C durante 30 minutos en un horno cerámico a gas y luego fueron llevadas a laboratorio para el análisis de los diferentes parámetros del suelo. Se concluyó que a temperatura de 100°C no hubo cambios significativos en la mayoría de las propiedades químicas; a 200°C y 300°C se presentaron significativos cambios y a 400°C

y 500°C ocurren cambios muy relevantes ocasionando la difícil recuperación del suelo debido a la pérdida de fracción orgánica y otras propiedades importantes.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Fogacho (2017) menciona que se pueden realizar quemas experimentales realizadas en laboratorio simulando incendios forestales por lo que, al calentar las muestras del suelo procedentes del Páramo Antisana y Parque Metropolitano Guanguiltagua en Quito, Ecuador; a temperaturas de 100°C – 700°C se determinó que con el aumento de temperatura incrementa los valores de pH y disminuye la materia orgánica.

Sacchi *et al.* (2015) indican que a temperatura de calentamiento de 100°C - 500°C las propiedades químicas: pH, nitrógeno total y CIC; fueron las que presentaron mayor alteración en los suelos de Córdoba, Argentina. A 300°C se registraron cambios estadísticamente significativos para los parámetros edáficos analizados con respecto al suelo control. A 500°C estas modificaciones son complejas de revertir debido al colapso de la fracción inorgánica coloidal y la disminución del 90% de la fracción orgánica.

Denegri *et al.* (2014) afirmaron que, al quemar un suelo característico de las Sierras Chicas de Córdoba, Argentina; utilizando una mufla regulada a temperaturas de 100°C – 500°C, se determinó que, hasta los 200°C el pH disminuye respecto al testigo, luego se incrementa hasta los 400°C. La conductividad eléctrica aumenta a 200°C, luego disminuye significativamente. El carbono oxidable y el nitrógeno total disminuyen con el aumento de la temperatura hasta eliminarse casi por completo a 500°C. El contenido de fósforo extraíble se incrementa a partir de 200°C. La evaluación de determinadas variables del suelo permite estimar las temperaturas de incendios naturales.

Hepper *et al.* (2008) mencionan que se determinó pH, textura, carbono orgánico, nitrógeno total, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en dos tipos de suelo (franco arenoso y franco) correspondientes a la Región Semiárida Pampeana Central, Argentina. Los suelos fueron calentados durante 5 minutos a temperaturas de 100°C - 600°C. Las temperaturas de quema a las que se produjeron mayores modificaciones fueron 500°C y 600°C. Como consecuencia de una quema a altas temperaturas disminuirá la capacidad de retención de agua y de nutrientes de estos suelos, con la consecuente pérdida de fertilidad.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Aliaga y Garzón (2016) señalan que la quema de purmas altera la calidad del suelo, tal como lo muestra su estudio realizado en el distrito de Pichanaki – Chanchamayo, Huancayo; obteniendo como resultado el incremento pH de 6,09 a 7,46; la materia orgánica disminuyó de 4,5 % a 2,04% a 5 cm de profundidad, los cationes intercambiables se incrementaron en 5 y 30 cm de profundidad, la respiración microbiana disminuyó en 5 cm de profundidad de 67,31 a 33,25 CO₂ mg y la macrofauna en la capa superficial del suelo disminuyó.

2.1.3. Antecedentes Locales

Alva y Manosalva (2019) muestran que el incendio forestal ocurrido en el Cañón de Sangal, Cajamarca, Perú; incrementó la conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, magnesio cambiante, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico. Los cambios en las propiedades del suelo fueron causados principalmente por el incremento de la temperatura en el incendio, incorporación de cenizas al suelo por la combustión y condiciones climáticas post fuego.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Efectos del fuego en el suelo

“Los efectos en el suelo van a depender de la intensidad y duración del fuego” (BCN 2017:1). Según afirman Bodi *et al.* (2012), los incendios de baja intensidad mejoran la vegetación herbácea ya que incrementan la

disponibilidad de nutrientes en el suelo, debido a eso, se consideran incendios de menor impacto; mientras que, “al ocurrir fuego intenso los contenidos de materia orgánica se reducen” (Molina y Llinares 2000:160). En fuegos intensos se producen temperaturas suficientes como para alterar las propiedades del suelo; dentro de la masa de ignición las temperaturas pueden llegar de 1200 a 1400°C y en bosques de coníferas la temperatura en la superficie del suelo alcanza los 1000°C (Rosero y Osorio 2013).

Para Urretavizcaya (2010:142), “la temperatura máxima del suelo, durante fuegos forestales, es de 200 a 300°C, pero en combustibles pesados como troncos y ramas gruesas, es común que la superficie del suelo alcance temperaturas máximas de 500 a 700°C”. Jiménez (2016) señala que, el aumento de temperatura ocasionado por el fuego se produce en la capa más superficial del suelo; por ende, los cambios más significativos son principalmente en los primeros centímetros.

Tabla 1. Alteraciones en el suelo según la temperatura producida por el fuego.

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

Fuente: Neary *et al.* (1999) citado por Jiménez (2016).

2.2.2. Propiedades químicas del suelo

2.2.2.1 pH (potencial de hidrógeno)

Indica el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo y determina si un suelo es ácido o alcalino. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 a 9,5 (FAO 2020).

El fuego afecta directamente al pH, incrementándose su valor por las cenizas procedentes del incendio, las cuales contienen gran cantidad de carbonato potásico ($CO_3 K_2$). Sin embargo, al presentarse las lluvias ocurre un proceso de lavado y arrastre de cationes; entonces los valores de pH van disminuyendo, llegando a valores inferiores a los registrados antes del incendio (Martínez *et al.* citado por Rosero y Osorio 2013).

2.2.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

A través de la conductividad eléctrica se mide la concentración de sales solubles presentes en el suelo. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica; por tanto, a mayor CE, mayor es la concentración de sales en el suelo. La CE de un sustrato debe ser baja, en lo posible menor a 1dS/m; para facilitar la fertilización y evitar problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Barbaro *et al.* 2014).

Hernández *et al.* citado por Celis *et al.* (2013:149) indica que, “tras la exposición a temperaturas moderadas, la conductividad eléctrica del suelo puede aumentar notablemente por la incorporación de sales solubles procedentes de la combustión de la materia orgánica”. Por otro lado, Terefe *et al.* citado por Celis *et al.* (2013) señala que, a 500°C se destruye los minerales de arcilla y la formación de óxidos; por lo que, la CE disminuye.

2.2.2.3 Materia orgánica

De acuerdo a Huerta (2010), la materia orgánica es fundamental ya que regula los procesos químicos, mejora las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas en el suelo.

En incendios de baja severidad el contenido de materia orgánica de los suelos quemados no presenta cambios importantes con respecto al de los suelos no quemados; mientras que, los incendios de mayor severidad causan la combustión de la materia orgánica ocasionando degradación física como la pérdida de estabilidad de los agregados (Benito *et al.* 2014). Según Pascual (2011:31), “los residuos orgánicos comienzan a alterarse a temperaturas entre 200 y 250°C, y se pierden por completo en torno a los 400 – 450°C”.

2.2.2.4 Fósforo

El fósforo disponible es vital para los vegetales y a la vez es un elemento que se encuentra insuficiente para las plantas, ya que el fósforo no es reciclado por las lluvias ni es liberado rápidamente de los residuos orgánicos (Fernández 2007).

El aumento de la temperatura mineraliza el fósforo orgánico; es por eso que después de una quema existe un gran aumento de fosforo disponible. Sin embargo, el incremento inicial de la fertilidad es efímero, ya que, al cabo de tres meses, una buena parte de la fertilidad desarrollada por el quemado desaparece (Romanyá *et al.*; Giovannini citado por Afif y Oliveira 2006)

2.2.2.5 Potasio

El potasio es esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La carencia de este elemento afecta varios procesos fisiológicos y bioquímicos reduciendo el rendimiento de la planta. El paso directo del potasio de la fase sólida a la raíz no es posible; para que ocurra absorción es necesario que los iones K pasen de los sitios de intercambio a la solución del suelo (Espinosa 2016).

Luego de un incendio los valores de potasio se elevan; pero este incremento va desapareciendo y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores son similares a los iniciales, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores (Martínez *et al.* citado por Rosero y Osorio 2013).

2.2.2.6 Nitrógeno

De acuerdo a Cerón y Aristizábal (2012:2) “para las plantas la disponibilidad de nitrógeno (N) es la principal limitante en la productividad de los cultivos ya que determinan el crecimiento vegetal”. El 78% del nitrógeno se encuentra en la atmosfera en estado libre como nitrógeno diatómico N_2 , para que el nitrógeno pueda ser asimilado por las plantas es necesario que pase de forma orgánica a inorgánica; es ahí, cuando los microorganismos del suelo toman acción descomponiendo la materia orgánica, inicialmente se forma NH_4^+ (amonificación) luego a NO_2^- y NO_3^- (nitrificación) (Pellegrini 2017).

Durante la combustión se pierde grandes cantidades de este elemento por volatilidad (Raison *et al.* citado por Serna 2017).

2.2.2.7 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) indica la capacidad que tienen las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) para retener cationes como calcio, magnesio, sodio y potasio; entonces cuando un suelo presenta bajo CIC, indica que carece de nutrientes, es arenoso o es pobre en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo $cmolc/kg$ o $meq/100g$ de suelo (FAO 2020).

Oswald *et al.*, Badía y Martí, citados por Serna (2017:29) “indican que la CIC desciende después de los incendios debido a la pérdida de materia orgánica, que suministra posiciones de cambio”.

2.2.2.8 Cationes cambiables

El K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+} y H^+ son los cationes más predominantes en los suelos agrícolas, mientras que, el NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Cu^{2+} son otros nutrientes con carga positiva, pero se encuentran en cantidades muy pequeñas; la mayor cantidad de cationes están adheridos a las superficies de las partículas del suelo y están en equilibrio con la solución del suelo (INTAGRI 2017).

Para Bellido *et al.* (2009), en los suelos ácidos predominan H^+ y Al^{3+} , en los suelos alcalinos predominan las bases fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{++} .

En fuegos de baja intensidad los cationes de cambio en la solución del suelo aumentan tras la quema, debido a que son retenidos 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, disminuyendo los cationes en el suelo (Cáceres 2018).

2.2.2.9 Calcio

El calcio es absorbido por la planta en forma de ión Ca^{2+} , constituye y estabiliza las paredes y membranas de la célula, también, participa en la división y extensión celulares e influye en la compartimentalización de la célula (Díaz *et al.* 2007).

2.2.2.10 Magnesio

El magnesio cumple una función importante en el átomo central de la molécula de clorofila. También participa en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO_2 , además, es responsable de la regulación de pH (Ross 2004).

2.2.2.11 Sodio

De acuerdo a Rodríguez y Flórez (2004), el sodio es elemental para el desarrollo de ciertas especies vegetales, también, puede reemplazar funciones del potasio en las plantas. Sin embargo, Courel (2019:4) indica que, “la elevada concentración de sodio produce incrementos del pH del suelo a valores iguales o superiores a 8,5 (suelos fuertemente alcalinos) lo que dificulta de modo severo la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes”.

2.2.2.12 Aluminio e hidrogeno

El hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) producen acidez en el suelo, disminuyendo el pH. Altas concentraciones de Al^{+3} genera toxicidad en las plantas, impidiendo la disponibilidad y absorción de nutrimentos;

así mismo, tiene un efecto negativo sobre las propiedades físicas como estructura, estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo (Oliva 2009).

Rodríguez y Flórez (2004:34) aducen que “en condiciones de pH bajo disminuye la absorción de fósforo, calcio, magnesio, potasio, hierro y boro”.

2.3. Definición de términos básicos

- Intensidad de quemado del suelo: Grado de calentamiento del suelo.
- Incendio forestal: Es la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación en los bosques (CENAPRED 2019).
- Suelo: Es la capa superficial de la tierra. Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y consta de horizontes los cuales tienen distintas propiedades físicas y químicas; tiene cuatro grupos de componentes: Materia mineral, Materia orgánica, Agua y Aire (INIA 2015).
- Propiedades químicas del suelo: Se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, se pueden mencionar los siguientes: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y P, N y, K (Calderón *et al.* 2018).
- Saturación de bases: Se refiere al porcentaje de cationes básicos respecto al valor de la CIC total (Serna 2017).
- Carbonato de calcio: El carbonato de calcio, el principal componente de la piedra caliza, es una enmienda muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas (IPNI 2019).
- Textura del suelo: “Se define como la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo” (Blanquer *et al.* 2010:2).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del área en estudio

El área de estudio es el bosque de plantaciones de *Pinus patula* correspondiente al fundo Surolaja, ubicado en el caserío Conga de Urquí, distrito Sucre, provincia Celendín, región Cajamarca; cuya área es de 9 ha, con coordenadas 819326 E, 9228731 N y una altitud de 2597 msnm.

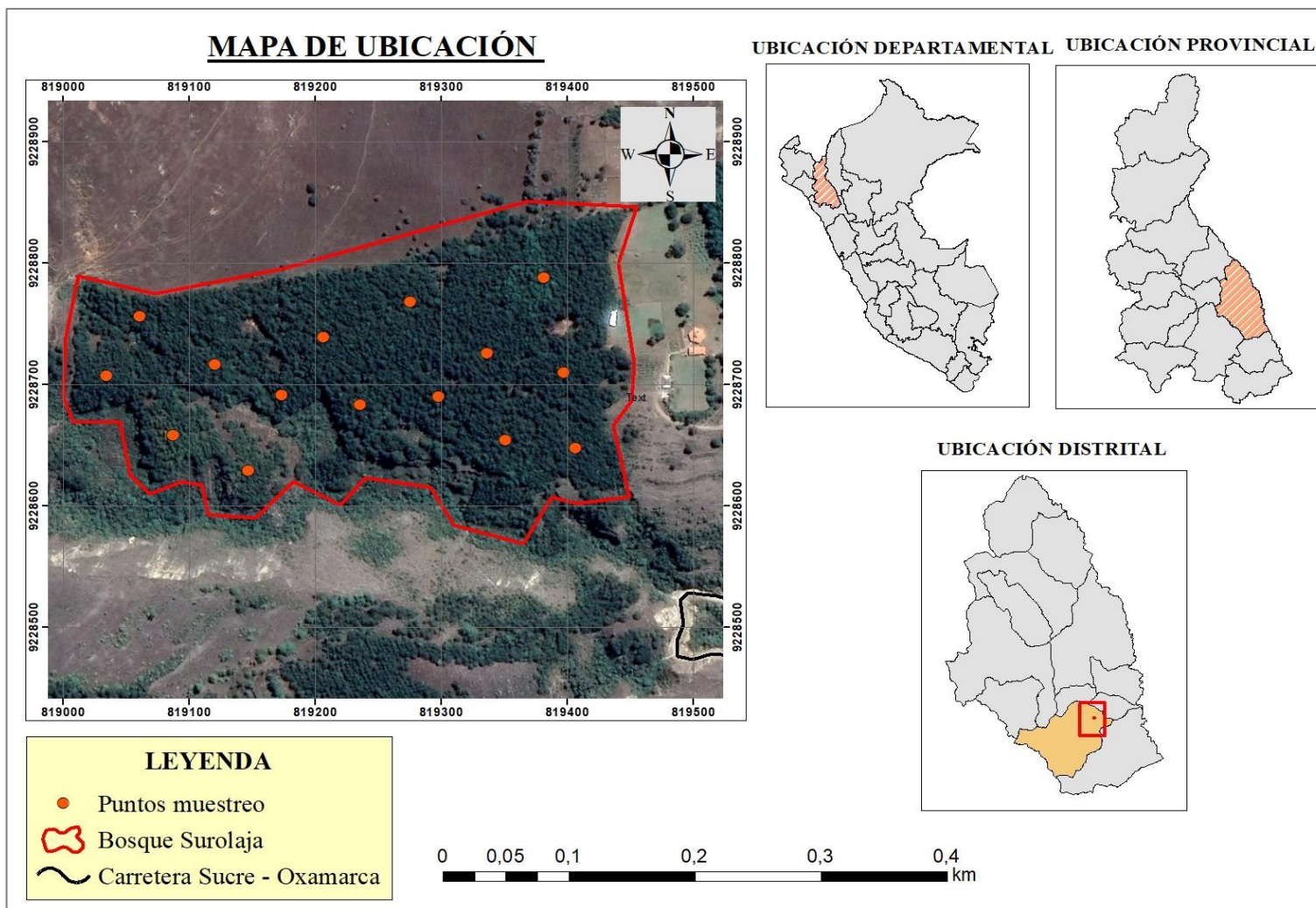


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El lugar de estudio está denominado con el nombre Surolaja, palabra compuesta por dos términos, Suro que significa quebrada cubierta de carrizos y Laja significa piedra lisa y aplanada; al parecer este nombre proviene por la existencia de un manantial ubicado en una quebrada en la cual se presentan carrizos delgados y rocas alisadas o lajas de donde mana abundante agua cristalina (MUS 2011). Los árboles de *Pinus patula* tienen 10 – 15 años de ser plantados.

3.1.1. Vías de acceso

Tabla 2. Vías de acceso al área de estudio

De	A	Característica de la vía	Distancia (Km)	Tiempo estimado en auto
Cajamarca	Celendín	Asfaltada	139	2:30 horas
Celendín	Sucre	afirmada	10	23 min
Sucre	Surolaja	afirmada	05	30 min

3.1.2. Clima

De acuerdo a la información proporcionada por el mapa de clasificación climática del SENAMHI (2020), “el área de estudio posee un clima lluvioso, con deficiencias de humedad en otoño e invierno y templado (B (o, i) B')”.

Para la descripción de las características meteorológicas, se consideró los datos facilitados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación meteorológica Celendín; la cual es la más cercana al área de estudio, con distancia aproximada de 16 km: Distrito y provincia Celendín, región Cajamarca; con latitud 6°51'10.92" S, longitud 78°8'41.55" W y altitud de 2607 msnm. Durante los años 2018– 2021 la temperatura mensual oscila entre 12,74 – 14,75°C, los meses con mayor precipitación son: Enero, marzo, noviembre y diciembre; la humedad relativa promedio oscila entre 73,46 – 88,43 %.

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

El material de estudio es el suelo de la plantación *Pinus patula* del caserío Conga de Urquía, distrito Sucre, provincia Celendín, región Cajamarca.

3.2.2. Materiales de campo

- Fichas de registro de campo
- Pico, palana y pala
- Baldes plásticos
- Costales
- Bolsas plásticas
- Cuaderno de campo, lapiceros
- Cinta masking tapquee y etiquetas para rotular las muestras
- Plumón indeleble
- Wincha
- GPS: Garmin MAP 64sx
- Cámara fotográfica: Nikon Réflex D7500

3.2.3. Material y Equipo de laboratorio

- Equipos de análisis de suelo
- Reactivos

3.2.4. Materiales y Equipos de gabinete

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

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajo de campo

Se realizó en el mes de junio del año 2019.

- **Caracterización del suelo:** Se realizó una calicata en el suelo forestal, tomando en cuenta la guía para la descripción de suelos de la FAO (2009:21), la cual indica que; “un perfil o calicata recién excavado permite la examinación y descripción de los diferentes horizontes del suelo además de conocer otras características del suelo”. La descripción del perfil del suelo, fisiografía, relieve, vegetación, elevación, pendiente, drenaje y pedregosidad superficial se registró en el formato de la ficha de campo del

laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Cajamarca. Las medidas de la calicata fueron las siguientes:

- Ancho: 0.9 m
 - Largo: 1.5 m
 - Profundidad: 1.5 m
- **Toma de muestras y quemado de suelo:** La toma de muestra se realizó de acuerdo al proyecto de investigación de Hepper *et al.* (2008), el cual está referido a los cambios que producen las temperaturas de quema sobre propiedades físicas y químicas de suelos. Del área de estudio se tomaron 15 submuestras de suelo al azar de los primeros 10 cm de profundidad. Las submuestras fueron homogenizadas para formar una muestra compuesta en la cual se realizó el cuarteo para extraer las muestras de suelo control y las muestras de suelo para el procedimiento de quemado. Las muestras de suelo fueron expuestas a temperaturas de 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C durante 30 minutos en un horno cerámico a gas controlado con termocupla digital. El mencionado horno corresponde a la empresa de cerámica “Pachaninaq” situada en la ciudad de Cajamarca. Una vez enfriadas las muestras de suelo, se procedió a colocar 1kg de suelo en cada bolsa plástica con cierre hermético. En total se obtuvieron 12 muestras de suelo.
 - **Etiquetado y traslado de las muestras:** Las 12 muestras fueron etiquetadas y se las colocó en un cooler para trasladarlas apropiadamente al laboratorio para el análisis químico del suelo.

3.3.2. Trabajo de laboratorio

Se realizó el análisis de las propiedades químicas del suelo en el laboratorio de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. En la tabla 3 se detalla la metodología utilizada para el análisis de cada parámetro.

Tabla 3. Métodos de análisis utilizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Parámetro	Método de análisis
Textura	Método del hidrómetro.
pH	Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1.
Conductividad eléctrica	Medida de la conductividad eléctrica del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1.
Carbonato de calcio	Método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
Materia orgánica	Método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % M.O. = % Cx1.724.
Fósforo disponible	Método del Olsen modificado, extracción con NaHCO ₃ =0.5M; pH = 8.5.
Potasio disponible	Extracción con acetato de amonio (CH ₃ – COONH ₄)N, pH 7.0.
Capacidad de intercambio catiónico	Saturación con acetato de amonio (CH ₃ – COOCH ₄)N; pH 7.0.
Cationes Cambiables	Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺
	Reemplazamiento con acetato de amonio (CH ₃ – COONH ₄)N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
	Al ⁺³ + H ⁺
Nitrógeno total	Método de Yuan. Extracción con KCl, N.
	Método del micro-Kjeldahl.

3.3.3. Trabajo de Gabinete

El diseño experimental efectuado es el diseño completamente al azar con 6 tratamientos que se describen en la tabla 4 y se realizó 2 repeticiones; en cuanto a este último, Reyes (2002: 141), indica que “el número de repeticiones debe ser tal que el número de grados de libertad para el error nunca sea menor de 4”. El análisis estadístico de los resultados obtenidos en laboratorio se realizó con el software Minitab 18 en el cual se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rango múltiple Tukey como técnica de análisis de datos; así mismo, se utilizó el software Excel en el cual se procesaron datos para obtener gráficos comparativos.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción
1	Suelo sin quemar
2	Suelo quemado a 100 °C
3	Suelo quemado a 200 °C
4	Suelo quemado a 300 °C
5	Suelo quemado a 400 °C
6	Suelo quemado a 500 °C

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción general de la zona y suelo del área de estudio

En la zona de estudio la vegetación principal es el pino (*Pinus patula*) y zarzamora (*Rubus ulmifolius*), existe una pendiente de 45% y la pedregosidad superficial es de 1%. El suelo posee un drenaje adecuado, escurrimiento superficial moderado y el material madre está conformado por areniscas.

Los datos obtenidos en la calicata S - 01 muestran que el suelo tiene cinco horizontes definidos. El horizonte O1 con profundidad 0 – 5 cm, horizonte orgánico con acículas de pino secas sin descomponer. Horizonte O2 con profundidad de 5 – 8 cm, horizonte orgánico delgado con hojarasca descompuesta. Horizonte A1 comprende una profundidad de 8 – 28/30, con abundante presencia de raíces gruesas y delgadas, ausencia de piedras y existe moderada actividad microbiana. Horizonte Bt con profundidad de 28/30 – 60 cm, muestra presencia de raíces finas, se observa pocas piedras pequeñas y escasa actividad biológica. Horizonte Bc con profundidad mayor a 60 cm, se observa muy poco desarrollo de raíces finas, presencia de piedras pequeñas a medianas, escasa actividad microbiana.

4.2. Propiedades químicas del suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

Tabla 5. Propiedades químicas del suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

Propiedad	Unidad	Repetición	Suelo sin quemar	Suelo quemado					
				Temperatura °C					
				100	200	300	400	500	
pH	Unidad	M1	5.06	4.76	4.47	4.72	5.06	5.65	
		M2	5.01	4.76	4.46	4.75	5.06	5.69	
		Promedio	5.04	4.76	4.47	4.74	5.06	5.67	
C.E.	dS/m	M1	0.10	0.11	0.47	0.36	0.43	0.17	
		M2	0.08	0.08	0.49	0.35	0.70	0.20	
		Promedio	0.09	0.10	0.48	0.36	0.57	0.19	
CaCO ₃	%	M1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Promedio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
M.O.	%	M1	6.34	5.42	4.91	4.57	3.15	1.27	
		M2	5.24	5.91	4.60	4.43	3.45	1.59	
		Promedio	5.79	5.67	4.76	4.50	3.30	1.43	
P	ppm	M1	4.00	4.70	13.40	12.80	15.10	17.70	
		M2	4.00	4.00	14.50	11.20	13.80	18.70	
		Promedio	4.00	4.35	13.95	12.00	14.45	18.20	
K	ppm	M1	94.00	108.00	111.00	120.00	117.00	154.00	
		M2	88.00	108.00	112.00	116.00	115.00	164.00	
		Promedio	91.00	108.00	111.50	118.00	116.00	159.00	
Análisis Mecánico	Arena	%	M1	74.00	66.00	68.00	62.00	72.00	72.00
			M2	70.00	68.00	62.00	60.00	74.00	74.00
			Promedio	72.00	67.00	65.00	61.00	73.00	73.00
	Limo	%	M1	14.00	18.00	20.00	22.00	24.00	22.00
			M2	16.00	18.00	22.00	22.00	22.00	20.00
			Promedio	15.00	18.00	21.00	22.00	23.00	21.00
	Arcilla	%	M1	12.00	16.00	12.00	16.00	4.00	6.00
			M2	14.00	14.00	16.00	18.00	4.00	6.00
			Promedio	13.00	15.00	14.00	17.00	4.00	6.00
Clase textural	-	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	
CIC	meq/100g	M1	15.20	15.52	13.92	11.84	8.32	5.60	
		M2	16.32	16.00	13.44	11.20	8.80	4.80	
		Promedio	15.76	15.76	13.68	11.52	8.56	5.20	
Cationes Cambiables	Ca ⁺²	meq/100g	M1	1.65	1.27	1.32	1.21	1.03	0.83
			M2	1.35	1.28	1.27	1.28	1.44	0.86
			Promedio	1.50	1.28	1.30	1.25	1.24	0.85
	Mg ⁺²	meq/100g	M1	0.33	0.28	0.28	0.32	0.28	0.35
			M2	0.30	0.33	0.27	0.28	0.27	0.38
			Promedio	0.32	0.31	0.28	0.30	0.28	0.37
	K ⁺	meq/100g	M1	0.04	0.10	0.11	0.12	0.09	0.19
			M2	0.04	0.08	0.09	0.12	0.10	0.23
			Promedio	0.04	0.09	0.10	0.12	0.10	0.21
	Na ⁺	meq/100g	M1	0.11	0.05	0.07	0.04	0.05	0.05
			M2	0.04	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07
			Promedio	0.08	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
	Al ⁺³ + H ⁺	meq/100g	M1	1.95	2.00	2.20	1.40	0.45	0.05
			M2	2.00	1.80	2.30	1.20	0.65	0.05
			Promedio	1.98	1.90	2.25	1.30	0.55	0.05
Suma de Cationes	meq/100g	M1	4.08	3.70	3.98	3.09	1.91	1.48	
		M2	3.73	3.55	3.98	2.94	2.53	1.59	
		Promedio	3.91	3.63	3.98	3.02	2.22	1.54	
Suma de Bases	meq/100g	M1	2.13	1.70	1.78	1.69	1.46	1.43	
		M2	1.73	1.75	1.68	1.74	1.88	1.54	
		Promedio	1.93	1.73	1.73	1.72	1.67	1.49	
Saturación de Bases	%	M1	14.00	11.00	13.00	14.00	18.00	25.00	
		M2	11.00	11.00	12.00	16.00	21.00	32.00	
		Promedio	12.50	11.00	12.50	15.00	19.50	28.50	
N	%	M1	0.22	0.25	0.23	0.22	0.16	0.10	
		M2	0.26	0.23	0.24	0.20	0.17	0.09	
		Promedio	0.24	0.24	0.23	0.21	0.17	0.10	

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

4.3. Análisis estadísticos

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey.

Propiedad	Unidad	Suelo sin quemar	Suelo quemado					p - valor	
			Temperatura °C						
			100	200	300	400	500		
pH	Unidad	5.04 b	4.76 c	4.47 d	4.74 c	5.06 b	5.67 a	0.000**	
C.E.	dS/m	0.09 c	0.10 c	0.48 ab	0.36 abc	0.57 a	0.19 bc	0.004**	
CaCO ₃	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	
M.O.	%	5.79 a	5.67 a	4.76 ab	4.50 ab	3.30 b	1.43 c	0.000**	
P	ppm	4.00 c	4.35 c	13.95 b	12.00 b	14.45 b	18.20 a	0.000**	
K	ppm	91.00 c	108.00 b	111.50 b	118.00 b	116.00 b	159.00 a	0.000**	
Análisis Mecánico	Arena	%	72.00 a	67.00 ab	65.00 ab	61.00 b	73.00 a	73.00 a	0.010*
	Limo	%	15.00 c	18.00 bc	21.00 ab	22.00 ab	23.00 a	21.00 ab	0.003**
	Arcilla	%	13.00 a	15.00 a	14.00 a	17.00 a	4.00 b	6.00 b	0.001**
Clase textural	-	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	Fr.A.	-	
CIC	meq/100g	15.76 a	15.76 a	13.68 b	11.52 c	8.56 d	5.20 e	0.000**	
Cationes Cambiables	Ca ⁺²	meq/100g	1.50 a	1.28 ab	1.30 ab	1.25 ab	1.24 ab	0.85 b	0.058 ^{NS}
	Mg ⁺²		0.32 a	0.31 a	0.28 a	0.30 a	0.28 a	0.37 a	0.052 ^{NS}
	K ⁺		0.04 c	0.09 bc	0.10 b	0.12 b	0.10 b	0.21 a	0.000**
	Na ⁺		0.08 a	0.06 a	0.06 a	0.05 a	0.06 a	0.06 a	0.833 ^{NS}
	Al ⁺³ + H ⁺		1.98 a	1.90 a	2.25 a	1.30 b	0.55 c	0.05 d	0.000**
Suma de Cationes	meq/100g	3.91 a	3.63 ab	3.98 a	3.02 bc	2.22 cd	1.54 d	0.000**	
Suma de Bases	meq/100g	1.93 a	1.73 a	1.73 a	1.72 a	1.67 a	1.49 a	0.357 ^{NS}	
Saturación de Bases	%	12.50 b	11.00 b	12.50 b	15.00 b	19.50 ab	28.50 a	0.002**	
N	%	0.24 a	0.24 a	0.23 a	0.21 ab	0.17 b	0.10 c	0.000**	

** : Alta significación estadística

* : Significación estadística

NS: No existe significación estadística

a, b, c, d, e: Prueba de Tukey

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$

La prueba de Tukey indica que los promedios de cada tratamiento son estadísticamente iguales siempre que muestren la misma letra.

Los resultados de los análisis estadísticos muestran que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los promedios de cada tratamiento de temperatura para la fracción arena y diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los promedios de cada tratamiento de temperatura para el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo, potasio, limo, arcilla, capacidad de intercambio catiónico, catión potasio, catión aluminio e hidrogeno, suma de cationes, saturación de bases y nitrógeno.

El análisis de varianza y prueba de Tukey de cada propiedad química del suelo en estudio, se encuentra detallado en el capítulo de anexos.

4.4. Análisis comparativo de las propiedades químicas del suelo sin quemar y del suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

4.4.1. pH

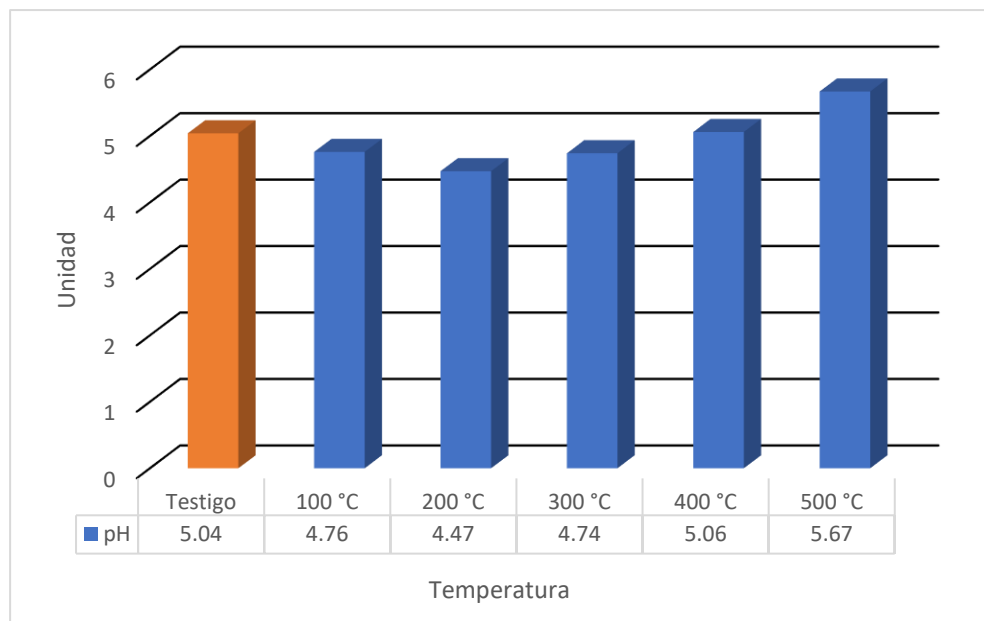


Figura 2. pH en el suelo sin quemar y en el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

El pH influye en la fertilidad del suelo. En suelos ácidos predomina elementos tóxicos como el aluminio y manganeso, como consecuencia disminuye la disponibilidad de nutrientes esenciales, impidiendo el crecimiento de las plantas (Rivera *et al.* 2018).

El pH del suelo varió de acuerdo a la intensidad de calentamiento, observándose que en el suelo testigo y a temperaturas de 100°C – 400°C el pH es fuertemente ácido y a 500°C tiende a elevarse siendo moderadamente ácido. En relación al suelo testigo, el pH del suelo quemado disminuyó 0.28 unidades a 100°C, 0.57 unidades a 200°C, 0.30 unidades a 300°C y a temperaturas de 400°C y 500°C se presentó un aumento favorable para el suelo de 0.02 unidades y 0.63 unidades, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los datos presentados por Hepper *et al.* (2008) quienes muestran que en el suelo franco arenoso el valor del pH en el suelo testigo es 5.68, a 100°C 5.71, a 200°C 5.65, a 300°C 5.28 y partir de los 400°C el pH se eleva a 6.65, a 500 °C 7.48 y a 600°C 7.85.

Según Sertsu y Sánchez, Giovanini *et al.*, citado por Sacchi *et al.* (2015:219) mencionan que, “en los suelos analizados a temperaturas menores de 300°C la combustión de la materia orgánica es incompleta”. Sin embargo, a 400°C la combustión va aumentando. Según Arocena y Opio citado por Sacchi *et al.* (2015:219) “La temperatura de 500°C, es el rango en el cual ocurre la combustión completa de los restos vegetales y la consecuente liberación de bases que, además, genera un incremento en la saturación de bases”; por tanto, se muestra que a esta última temperatura el pH va elevándose favoreciendo la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

4.4.2. Conductividad eléctrica (C.E.)

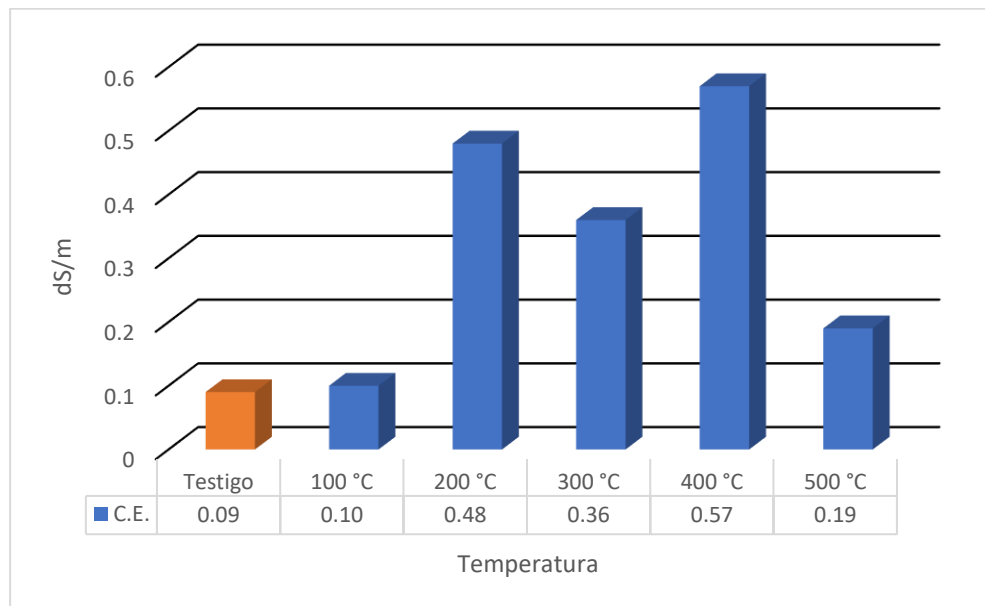


Figura 3. Conductividad eléctrica en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

La conductividad eléctrica es una propiedad química importante porque, mediante ésta, es posible determinar la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo; a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Es conveniente una CE baja ya que facilita la fertilización del cultivo y se evita fitotoxicidad (Barbaro *et al.* 2014).

En comparación con el suelo testigo se muestra más concentración de sales en el suelo calcinado a 400°C, el cual indica un aumento de 0.48 dS/m; seguido de este, se tiene los valores del suelo llevado a 200°C, 300°C, 500°C y 100°C con una pequeña elevación de 0.39 dS/m, 0.27 dS/m, 0.10 dS/m y 0.01 dS/m según el orden.

Kutiél *et al.*, Andreu *et al.* citados por Urretavizcaya (2010:145) expresa que “el aumento de la conductividad eléctrica quizás ocurra porque al quemarse la materia orgánica, las sustancias minerales son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que usualmente tienen reacción alcalina, aumentando la concentración de sales del suelo”. Para Denegri *et al.* (2014:11), “la disminución a 500°C, posiblemente ocurra porque parte de los óxidos liberados por combustión y que contribuyen a un aumento de la CE sean volatilizados por un aumento de la temperatura”.

En general se puede decir que en el suelo quemado la conductividad eléctrica es mayor en comparación con el suelo testigo. Sin embargo, los valores son menores a 2 dS/m, es decir, son muy ligeramente salinos, por tanto, el quemado del suelo no produjo efectos salinos indeseados.

4.4.3. Materia orgánica (M.O.)

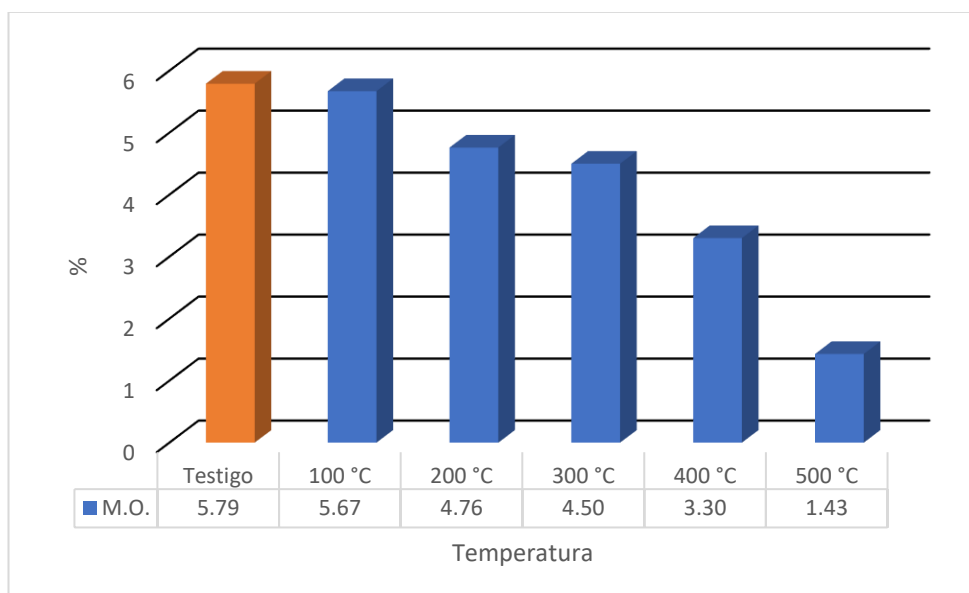


Figura 4. Materia orgánica en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

La materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo, actúa en la estabilidad estructural del suelo, permite la formación del complejo de cambio uniéndose a las arcillas y facilita la infiltración, retención del agua y los espacios para la fase gaseosa (Julca *et al.* 2006).

Santos y Velasco (2016:54) aducen que, “también, aumenta la disponibilidad de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn Ni) para las plantas y registran mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC)”.

El análisis comparativo muestra que a mayor intensidad de quemado la materia orgánica disminuye, siendo esto, perjudicial para el suelo. En relación al testigo a 100°C, 200°C y 300°C la materia orgánica del suelo disminuye 0.12%, 1.03% y 1.29% correspondientemente. Sin embargo, el porcentaje de materia orgánica sigue siendo alto (>4.0), A 400°C la reducción es de 2.49%

mostrando un contenido de clasificación medio de M.O y a temperatura de 500°C la cantidad decrece un 4.36% observándose un porcentaje bajo (<2.0). Algo similar ocurre en el estudio de Fogacho (2017) quien muestra que el suelo al ser sometido a 163.3°C, 301.4°C y 673.9 °C; la disminución de materia orgánica con relación al suelo testigo fue de 7.95 %, 10.64 % y 11.49 % respectivamente.

Jiménez (2016:18) menciona que “el efecto inmediato de las temperaturas de calentamiento produce una disminución en el contenido de la materia orgánica por volatilización”, así mismo DeBano y Giovannini *et al.*, citado por el mismo autor, afirman que cuando en el suelo se alcanza una temperatura en torno a 200 - 250°C, comienza la combustión de la materia orgánica, hasta su casi completa desaparición cuando ésta alcanza en torno a los 460°C.

4.4.4. Carbonato de calcio (CaCO₃)

El presente estudio indica que en el suelo testigo y el suelo sometido a diferentes intensidades de quemado, no presentan carbonatos de calcio (Tabla 5).

4.4.5. Fósforo disponible (P)

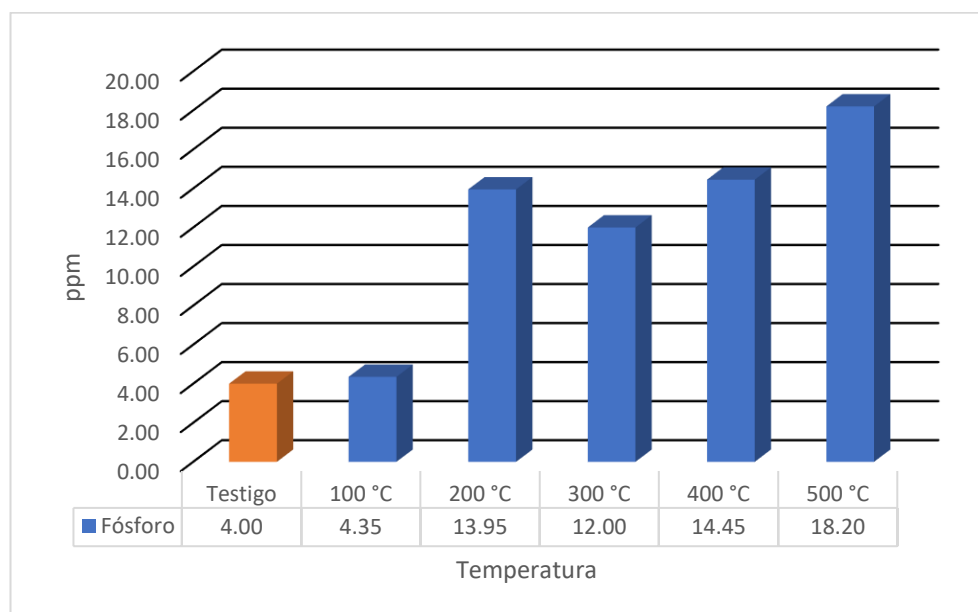


Figura 5. Fósforo en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

El fósforo es vital para las plantas; sin este macronutriente los vegetales carecen de un desarrollo adecuado, ya que es un componente de moléculas importantes como los ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP (Vicente 2016).

El fósforo disponible se eleva de manera significativa en el suelo sometido a las diferentes intensidades de quemado. El análisis comparativo evidencia que en relación al suelo testigo, en el suelo quemado a 100°C la cifra ha aumentado 0.35 ppm. Sin embargo, indica baja concentración de fosforo (<7.0 ppm), a 200°C y 300°C ha incrementado 9.95 ppm y 8.00 ppm respectivamente mostrando valores que tienen clasificación media (7.0 – 14.0 ppm), entre estas dos temperaturas hay una diferencia de 1.95 ppm, pero estadísticamente no hay diferencias significativas. A 400°C y 500°C hubo un incremento de 10.45 ppm y 14.20 ppm presentando alto contenido de fosforo disponible (>14.0 ppm). Datos concordantes presenta Denegri *et al.* (2014), en donde el fosforo disponible se incrementó significativamente en el suelo quemado respecto al suelo testigo; de la misma forma, Sawczuk (2009) en su investigación también determinó que a una temperatura de 427°C el fósforo disponible incremento 50.54 ppm en relación al suelo testigo.

Romanyá *et al.*, Giovannini citados por Afif y Oliveira (2006:267) expresan que el aumento de la concentración del fósforo disponible puede ser causado principalmente por la “mineralización del fósforo orgánico con el aumento de la temperatura”; como menciona Denegri *et al.* (2014:12), “este fósforo orgánico es proveniente de la biomasa vegetal y pasa a formas disponibles”. En razón a esto se menciona que las diferentes intensidades de quemado causan un efecto positivo en el fosforo del suelo.

4.4.6. Potasio disponible (K)

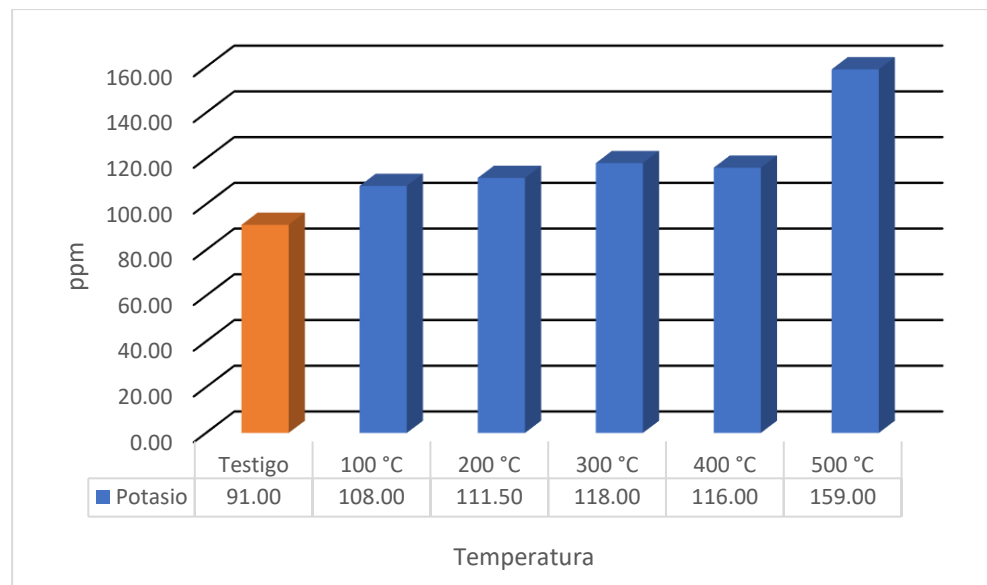


Figura 6. Potasio en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

El potasio es esencial para el crecimiento de las plantas, ya que interviene en la fotosíntesis, aumenta la resistencia de los vegetales a las enfermedades criptógamas, favorece el desarrollo de las raíces y da mayor consistencia a los tejidos (Ramírez 2015)

El potasio disponible en el suelo testigo es bajo (<100 ppm), pero los valores incrementan en los suelos con los tratamientos de quemado elevándose a una clasificación media (100 – 240 ppm), lo cual es beneficioso ya que el potasio es fundamental para el desarrollo de los cultivos. Con respecto al testigo el aumento observado es 17.00 ppm a 100°C, 20.50 ppm a 200°C, 27.00 a 300°C, 25.00 ppm a 400°C y 68.00 ppm a 500°C, similar caso se presenta en el estudio de Alva y Manosalva (2019) al determinar aumento de potasio disponible en relación al suelo testigo.

4.4.7. Nitrógeno total (N)

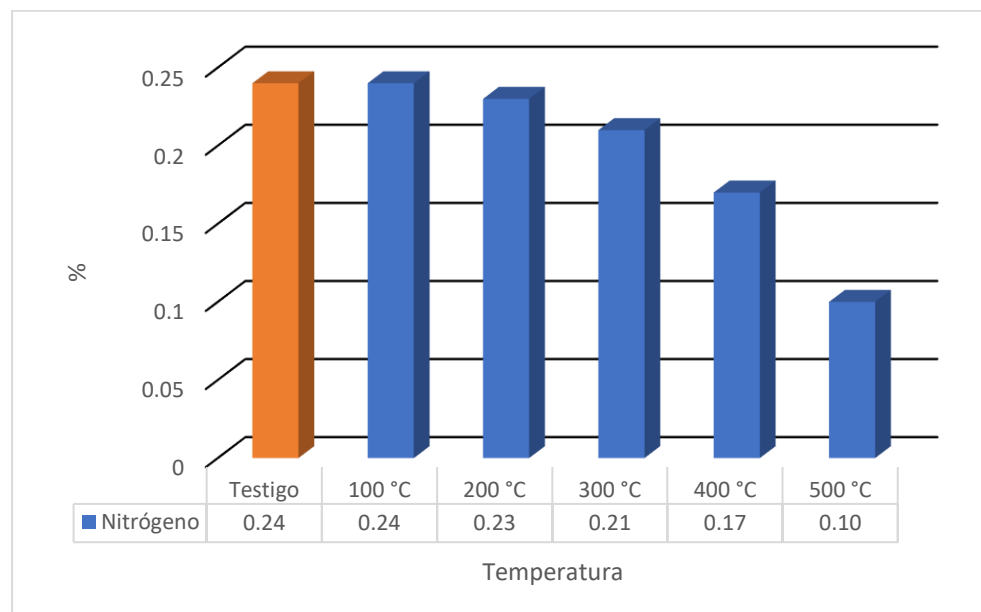


Figura 7. Nitrógeno en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

El nitrógeno es considerado un macronutriente primario, porque es un elemento importante para las plantas ya que requieren grandes cantidades para su crecimiento y desarrollo (Gamarra *et al.* 2017).

En el suelo quemado a 100°C no hay cambios, lo cual indica que a esta temperatura no existe pérdidas de este elemento. En relación al suelo testigo el contenido de nitrógeno disminuye a partir de los 200°C y a los 400°C - 500°C existe una reducción más notable de 0.07 y 0.14%. Estos resultados concuerdan con lo presentado por Sacchi *et al.* (2015) quienes muestran que en los suelos en estudio el contenido de nitrógeno total disminuyó ligeramente a partir de los 200°C, mientras que, a los 400°C y 500°C, hubo una disminución mayor de nitrógeno total; así mismo Kutiel y Shaviv citado por Mataix-Solera y Guerrero (2007:18) señalan que “en experimentos de quemado en laboratorio se han observado pérdidas elevadas, por ejemplo 34% a 250°C y 86% a 600°C”.

“La disminución que se observa en el contenido del nitrógeno total puede ser debido a la volatilización del nitrógeno en forma de N₂” (Úbeda 2001). Las pérdidas del nitrógeno producidas por las altas temperaturas indican una alteración negativa en el suelo.

4.4.8. Arena

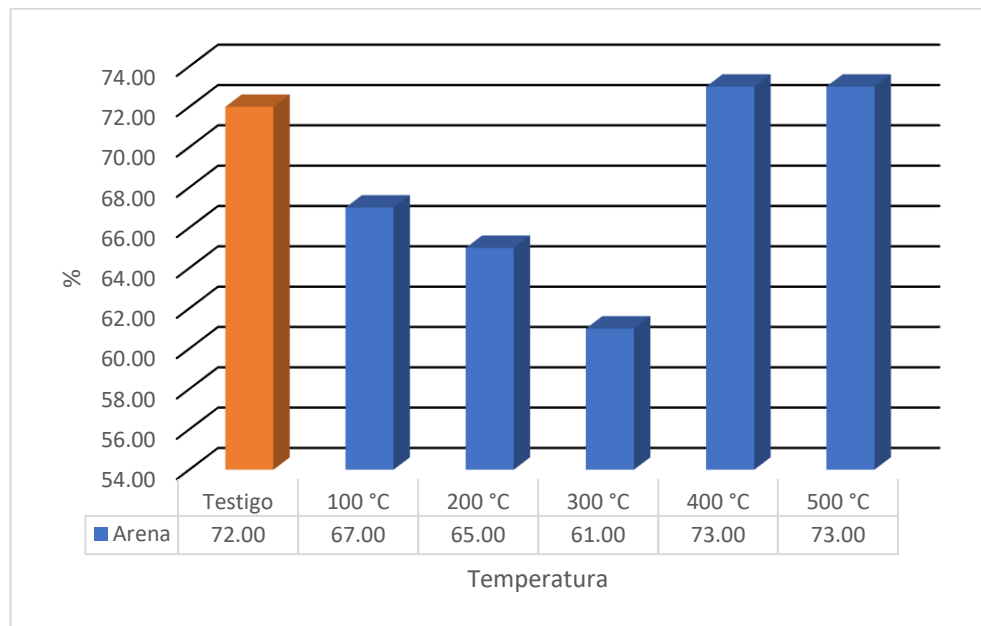


Figura 8. Arena en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

De acuerdo a Rucks *et al.* (2004), la fracción arena se caracteriza por poseer grandes espacios entre sus partículas, por lo cual hay poca capacidad de retener agua y el paso del agua gravitacional es rápido facilitando así el drenaje y el eficaz movimiento del aire.

Respecto al suelo testigo la fracción arena presenta una reducción de 5% a los 100°C, 7% a los 200°C, 11% a los 300°C. Sin embargo, a los 400°C y 500°C existe un incremento de 1%.

La disminución de arena puede ser atribuida a la ruptura de los feldespatos por acción del calor y el aumento de arena en los suelos quemados a 400°C y 500°C posiblemente se deba a que altas temperaturas producen la desintegración térmica de las arcillas, liberándose compuestos amorfos de silicio y aluminio que actúan como cementantes de partículas, aumentando las fracciones de arena (Arocena y Opio, Ulery y Graham citados por Hepper *et al.* 2008).

4.4.9. Limo

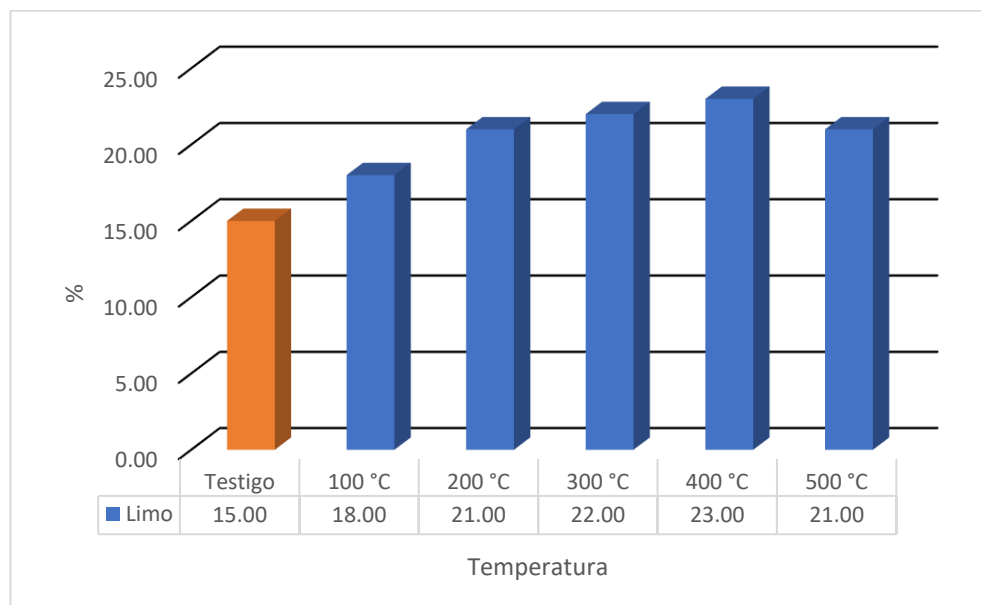


Figura 9. Limo en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

Pellegrini (2019:5) menciona que “el tamaño de partícula está entre 0.002 – 0.06 mm, dejando poros también más pequeños, donde almacena agua”.

La prueba estadística de Tukey indica que las concentraciones de limo de los suelos sometidos a los tratamientos de temperatura son superiores al contenido de limo en el suelo testigo. Con relación al suelo testigo se nota un aumento en las fracciones de limo de 3% a 100°C, 6% a 200°C, 7% a 300°C, 8% a 400°C. A 500°C se observa que la cantidad de limo es 6% más que el testigo, pero en comparación con el tratamiento a 400°C, disminuye 2%, esto es similar a lo mencionado por Hepper *et al.* (2008) quienes presentan en su investigación disminuciones de arcilla y limo a partir de los 500°C.

4.4.10. Arcilla

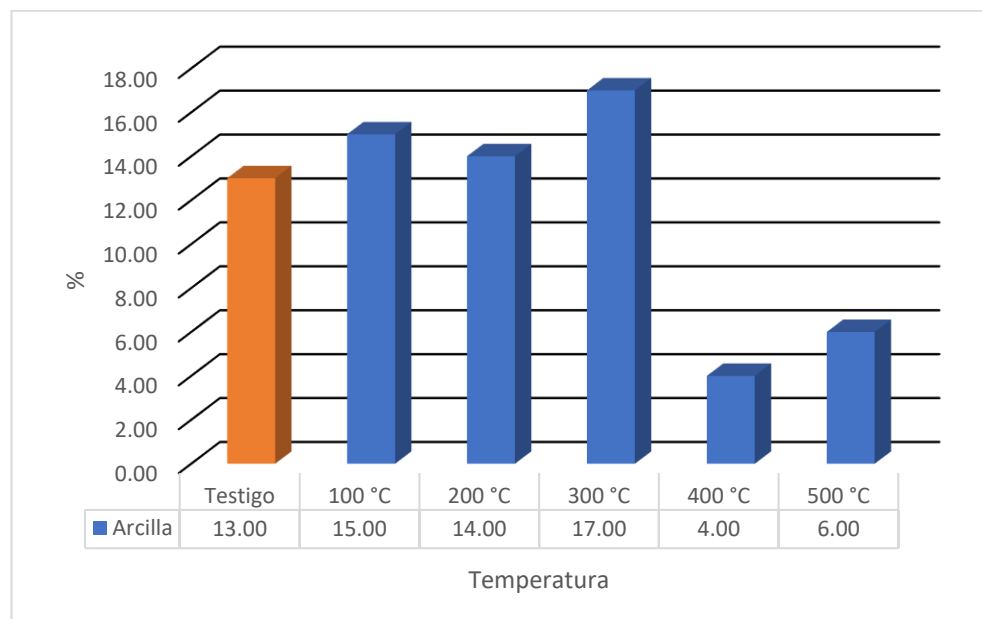


Figura 10. Arcilla en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

La arcilla es la fracción de suelo más fina (< 0.002). su función más importante es generar estructura, al tener carga, posibilita ligar las partículas de limo y arena. La arcilla influye en la fertilidad de los suelos y almacenamiento de agua (Pellegrini 2019).

Se observa que, en relación al suelo testigo hay un aumento en la cantidad de arcilla a temperaturas de 100°C, 200°C y 300°C; mientras que, a 400°C y 500°C existe una disminución de 9% y 7% respectivamente; de acuerdo a Granged (2011:22) esto sucede porque “a esas temperaturas la hidratación disminuye y la estructura cristalina comienza a colapsar”. Minervini *et al.* (2018:18) menciona que, “la destrucción de las caolinitas se produce alrededor de los 500°C”.

4.4.11. Clase textural

La clase textural del suelo en estudio no presenta cambios, manteniendo una textura franco arenosa; esto indica que cuando el suelo inicial está conformado por esta clase textural no es afectado por las intensidades de quemado.

4.4.12. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)

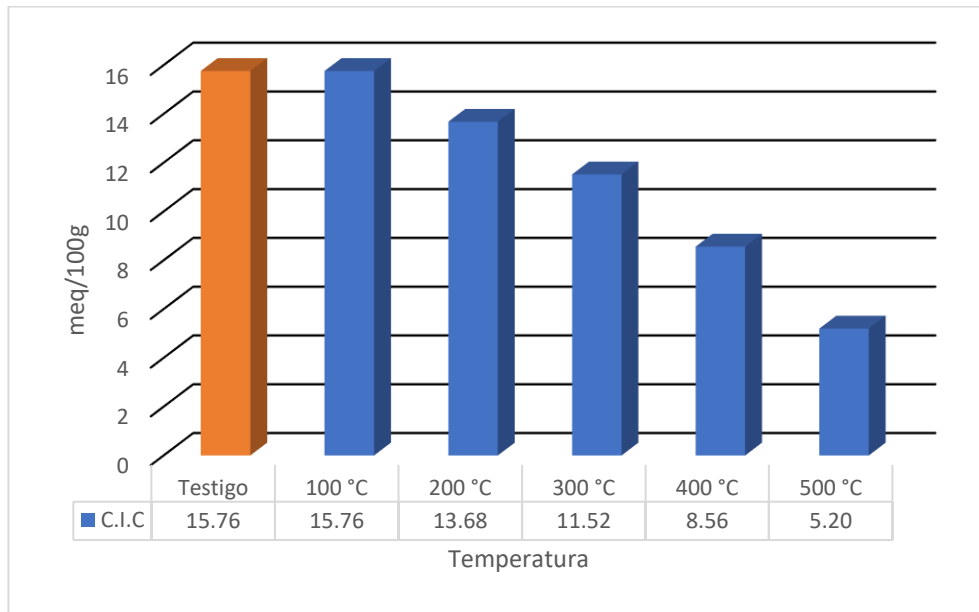


Figura 11. C.I.C. en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

La CIC es una propiedad química importante porque nos indica la capacidad que posee el suelo para almacenar en sus coloides, nutrientes de carga positiva, por tanto, un suelo con alta capacidad de intercambio catiónico es muy fértil; mientras que, en suelos que presentan baja CIC se reducen los espacios donde puedan adherirse los nutrientes, quedando en la solución del suelo con el riesgo a ser lavados por agua de riego o por lluvias (Toledo 2016).

La capacidad de intercambio catiónico disminuye cuando el suelo es quemado a 200°C y a temperaturas más altas, indicando un cambio desfavorable ya que esta propiedad química es importante en el suelo. La reducción que se presenta en relación al suelo testigo es de 2.08 meq/100g a 200°C, 4.24 meq/100g a 300°C, 7.20 meq/100g a 400°C y 10.56 meq/100g a 500°C. Se observa diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de CIC de los tratamientos. Sacchi *et al.* (2015) presenta en su estudio que la CIC mostró una disminución significativa a partir de los 300 °C. Minervini *et al.* (2018:23) indica que esto probablemente ocurre porque “las altas temperaturas generan modificaciones en los minerales de arcilla, como la disminución del contenido de caolinita y la transformación de los minerales expansibles, lo cual disminuye la capacidad de intercambio catiónico”.

4.4.13. Calcio (Ca^{2+})

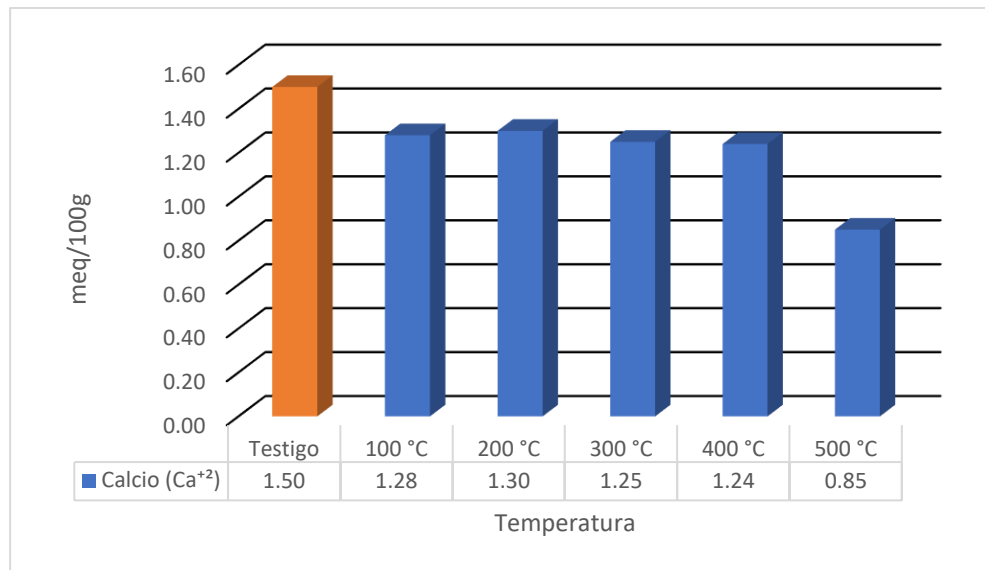


Figura 12. Calcio (Ca^{2+}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

El Calcio es importante porque ayuda al crecimiento de la raíz y del tallo al hacer posible que la planta tome fácilmente los alimentos del suelo, también reduce la acidez de los suelos y otorga turgencia a las plantas haciéndolas más eficientes en el uso de agua y reduciendo las pérdidas por evapotranspiración (Pereira 2011).

En relación al suelo testigo el calcio se reduce en el suelo quemado, observándose disminución de 0.22 meq/100g a 100°C, 0.20 meq/100g a 200°C, 0.25 meq/100g a 300°C, 0.26 meq/100g a 400°C y 0.65 meq/100g a 500°C; mostrando que el fuego provoca un daño a esta propiedad química del suelo, sobre todo cuando las temperaturas son altas. Estos datos concuerdan con los resultados expuestos por Hepper *et al.* (2008) indicando disminución en los valores de calcio. Iglesias *et al.* citado por Sacchi *et al.* (2015:222) menciona que esta disminución puede “estar relacionada con la formación de compuestos insolubles como fosfatos”.

4.4.14. Magnesio (Mg^{2+})

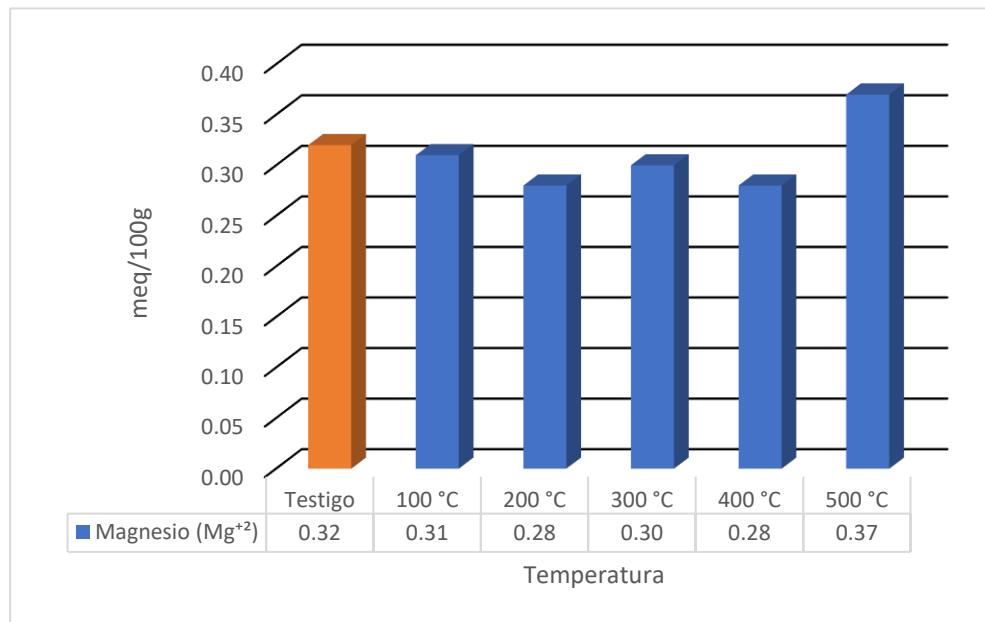


Figura 13. Magnesio (Mg^{2+}) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

El magnesio es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas ya que constituye el núcleo de la molécula de clorofila, También participa en la reacción de carboxylasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO_2 , también es responsable de la regulación del pH (Ross 2004).

El contenido de magnesio en el suelo expuestos a los diferentes tratamientos, estadísticamente no presenta diferencias significativas. Comparando con el suelo testigo la disminución a $100^\circ C$ es de 0.01 meq/100g, a $200^\circ C$ es 0.04 meq/100g, a $300^\circ C$ es 0.02 meq/100g y a $400^\circ C$ es 0.04 meq/100g. A temperatura de $500^\circ C$ existe un leve aumento de 0.05 meq/100g. Sertsu y Sánchez citado por Hepper *et al.* (2008:33) indica que la ligera pérdida de magnesio puede atribuirse a la “formación de carbonato y óxidos de este elemento”.

4.4.15. Potasio (K⁺)

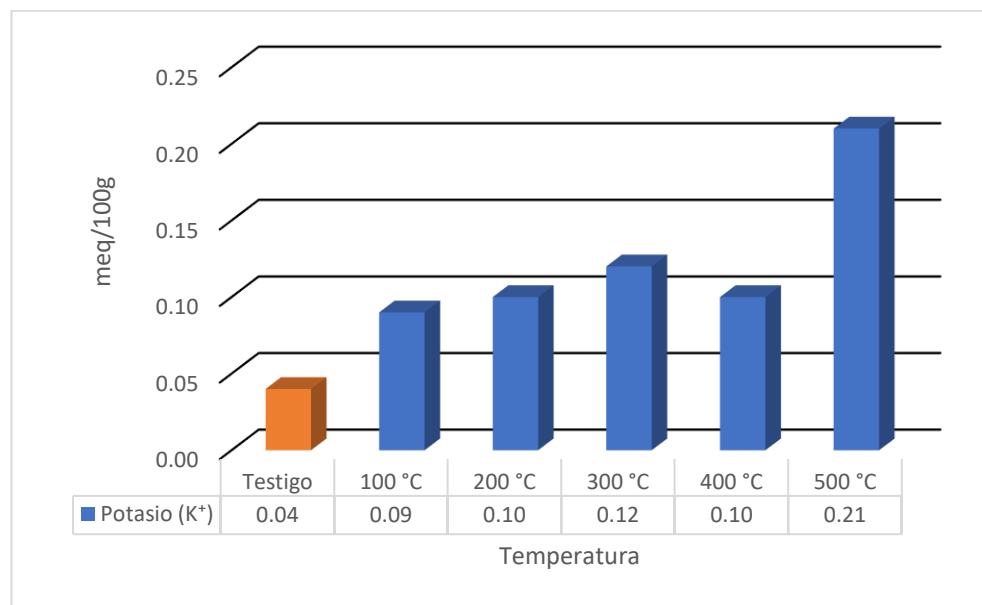


Figura 14. Potasio (K⁺) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

El potasio es importante en la planta porque actúa como activador de muchas enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas, una de las más principales es la piruvato quinasa, es una enzima principal de la glucólisis y respiración (Pérez 2017).

El contenido del catión K⁺ tiende a aumentar con la intensidad de quemado, lo cual indica que las altas temperaturas causan un efecto positivo en las proporciones de este catión. En comparación con el suelo testigo el incremento a 100°C, 200°C, 300°C, 400°C y 500°C fue 0.05, meq/100g, 0.06 meq/100g, 0.08 meq/100g, 0.06 meq/100g y 0.17 meq/100g, respectivamente. Hepper *et al.* (2008) indica que en su estudio los contenidos del catión potasio aumentaron a partir de los 300°C en el suelo franco arenoso; así también, Arocena y Opio citado por Sawczuk (2009) mencionaron que en su estudio de investigación encontraron aumentos de potasio intercambiable.

4.4.16. Sodio (Na^+)

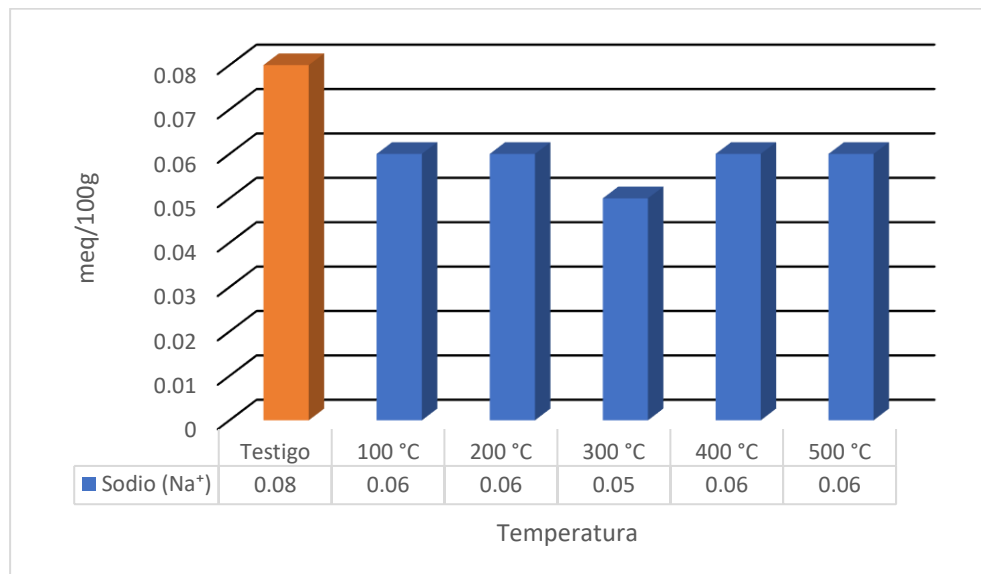


Figura 15. Sodio (Na^+) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

Rodríguez y Flórez (2004) señalan que, el sodio participa en el desarrollo vegetal, es elemental para ciertas especies y puede reemplazar funciones del potasio en las plantas. Lamz y González (2013:32) expresan que, “los suelos que tienen un valor mayor a 15 meq/100g de suelo se clasifican como suelos sódicos, lo cual perjudican las plantas y degradan la estructura del suelo”.

Comparado con el testigo el sodio en los suelos quemados tiende a disminuir levemente, estadísticamente no existen diferencias significativas entre los promedios de Na^+ . A temperatura de 300°C se presenta la mayor reducción el cual es de 0.03 meq/100g. Afif y Oliveira (2006) afirman que posteriormente al quemado del suelo no se observó variación importante en el contenido de sodio.

4.4.17. Aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$)

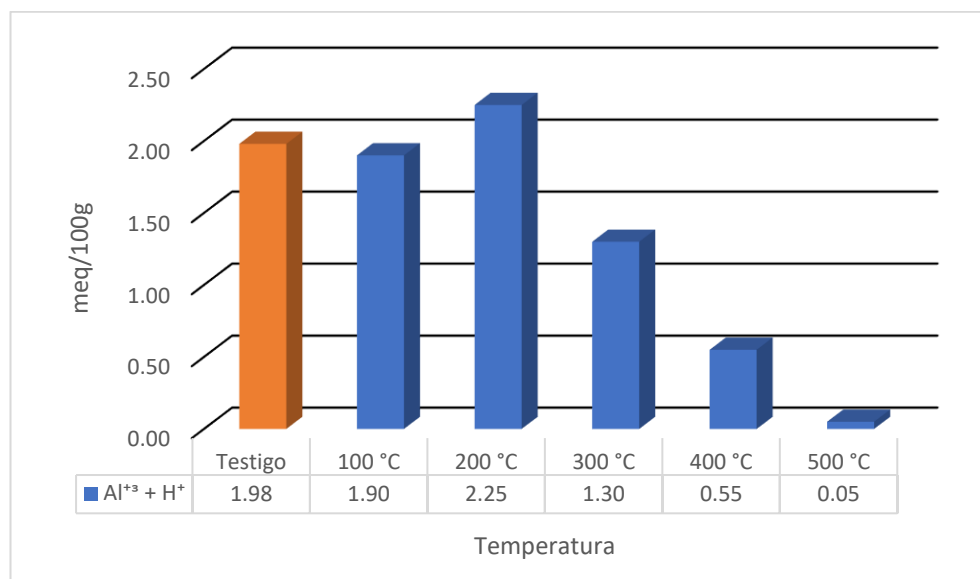


Figura 16. Aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura.

El Al^{3+} es un elemento tóxico para las plantas al modificar el funcionamiento de las membranas plasmáticas e interferir en la división y elongación celular, así mismo, entorpece la actividad de varias enzimas, disminuye la absorción de agua y el metabolismo de varios nutrientes (Rivera *et al.* 2016).

En el análisis comparativo entre el suelo testigo y el suelo sometido a las temperaturas de calentamiento se observa que el contenido del aluminio e hidrógeno se redujo 0.08 meq/100g a 100°C, 0.68 meq/100g a 300°C, 1.43 meq/100g a 400°C, 1.93 meq/100g a 500°C. A 200°C ocurre un ligero aumento de 0.27 meq/100g afectando negativamente al suelo. Según Alva y Manosalva (2019:54) “la acidez del suelo lo constituye la suma de H^+ más el Al^{3+} cambiante”. En la figura 1 el valor más bajo de pH se muestra en el suelo expuesto a 200°C disminuyendo 0.57 unidades, presentando a esta temperatura un aumento de aluminio e hidrógeno.

4.4.18. Suma de Cationes

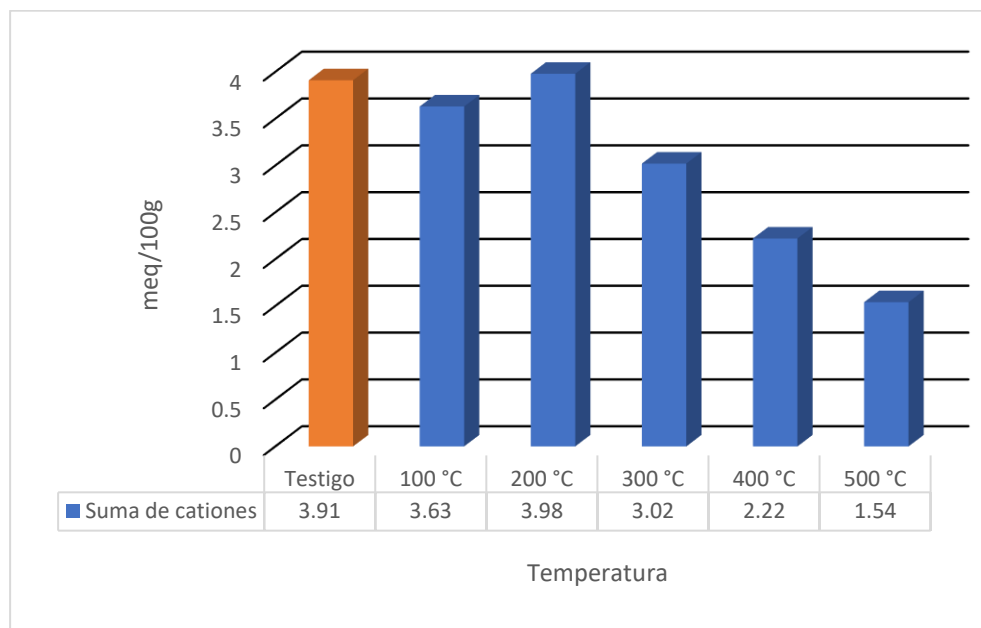


Figura 17. Suma de cationes en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

En lo que respecta a la suma de cationes ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + (\text{Al}^{3+} + \text{H}^+)$) en relación al suelo testigo es notable mayor concentración a 200°C con un ligero aumento de 0.07 meq/100g. A temperaturas de 100°C, 300°C, 400°C y 500°C hay una disminución de 0.28 meq/100g, 0.89 meq/100g, 1.69 meq/100g y 2,37 meq/100g correspondientemente, notándose cambios desfavorables para los cationes del suelo.

4.4.19. Suma de bases

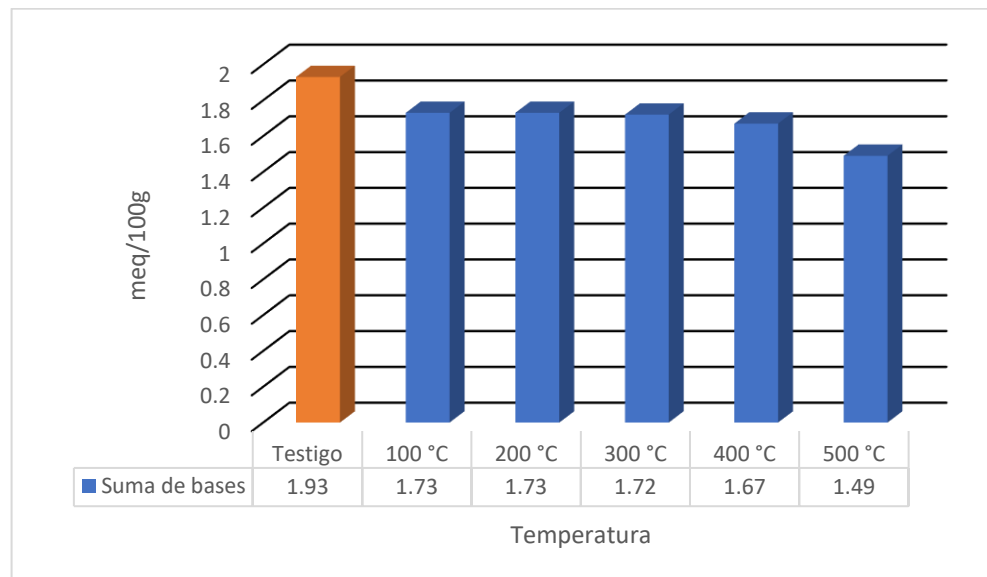


Figura 18. Suma de bases en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

Al quemar el suelo las cantidades de bases cambiabiles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) se reducen levemente comparado con el suelo testigo. Estadísticamente no existe diferencias significativas entre los promedios de suma de bases de los tratamientos. Sin embargo, al presentarse una disminución se establece que el quemado del suelo es desfavorable.

En relación a suelo sin quemar, los valores decrecen en 0.20 meq/100g a 100°C, 0.20 meq/100g a 200°C, 0.21 meq/100g a 300°C, 0.26 meq/100g a 400°C y 0.44 meq/100g a 500°C.

4.4.20. Saturación de Bases

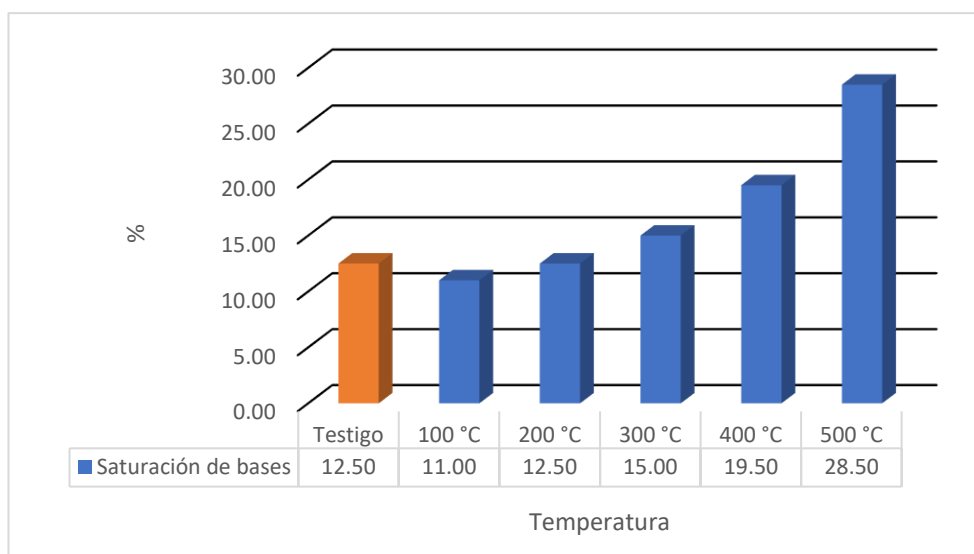


Figura 19. Saturación de bases en el suelo sin quemar y el suelo quemado a diferentes intensidades de temperatura

En relación al testigo se muestra que, a 100°C existe una disminución de 1.5%, a 200°C no hay ningún cambio, a temperaturas de 300°C y 400°C el porcentaje se eleva a 2.5% y 7% respectivamente y a 500°C hay un incremento de 16 %. Esto se debe a que el pH de suelo a 500°C se elevó 0.63 unidades y a 100°C el pH tuvo una pequeña disminución de 0.28 unidades, pues como menciona la FAO (2020) “la saturación de bases se relaciona con el pH del suelo”.

Serna (2017:22) afirma que “la saturación por bases es menor en suelos ácidos”. Por ello, en un análisis general se podría decir que el porcentaje de saturación de bases en el suelo en estudio es bajo ya que a nivel de todos los tratamientos el máximo valor de pH es 5.67 (500°C), es decir es moderadamente ácido.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El suelo testigo tiene un pH de 5.04, conductividad eléctrica 0.09 dS/m, materia orgánica 5.79 %, Fósforo disponible 4.00 ppm, Potasio disponible 91.00 ppm, Nitrógeno total 0.24 %, CIC 15.76 meq/100g, Calcio cambiabile 1.50 meq/100g, Magnesio cambiabile 0,32 meq/100g, Potasio cambiabile 0.04 meq/100g, Sodio cambiabile 0.08 meq/100g, Aluminio e hidrógeno cambiabile 1,98 meq/100g, Suma de Cationes 3.91 meq/100g, Suma de bases 1.93 meq/100g, Saturación de Bases 12.50 %, Arena 72.00 %, Limo 15.00 %, Arcilla 13.00 %.

A 100°C aumentó el potasio disponible (17.00 ppm) y se redujo los valores de pH (0.28 unidades). A 200 y 300°C se elevaron los valores de potasio disponible (20.50 ppm, 27.00 ppm respectivamente), fósforo disponible (9.95 ppm, 8.00 ppm respectivamente), K⁺ cambiabile (0.06 meq/100g, 0.08 meq/100g respectivamente), limo (6 %, 7% respectivamente) y se redujo las cantidades de pH (0.57 unidades, 0.3 unidades respectivamente), CIC (2.08 meq/100g, 4.24 meq/100g respectivamente), arena (7.00 %, 11.00 % respectivamente). A temperatura de 400°C incrementó significativamente la conductividad eléctrica (0.48 dS/m) y disminuyó la fracción arcilla (9%). A 500°C ocurrió variaciones relevantes: aumentó el pH (0.63 unidades), el fósforo disponible (14.20 ppm), potasio disponible (68.00 ppm), K⁺ cambiabile (0.17 meq/100g), saturación de bases (16 %) y hubo disminución de la materia orgánica (4.36%), el nitrógeno total (0.14%), CIC (10.56 meq/100g), calcio cambiabile (0.65 meq/100g), aluminio e hidrogeno cambiabile (1.93 meq/100g).

5.2. Recomendaciones

A partir de los hallazgos encontrados, realizar estudios de los cambios en las propiedades químicas de los suelos en bosques, matorrales u otros; al ser expuestos a temperaturas iguales o más elevadas a las mencionadas en el presente trabajo, de tal manera, se aporte a la ciencia con un conocimiento más profundo sobre este importante tema.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afif Khouri, E. y Oliveira Prendes, JA. 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo (en línea). Revista Invest Agrar: Sist Recur For 15(3): 262-270. Consultado 6 enero 2020. Disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/download/2230/1638>
- Aliaga Quispe, DA. y Garzón Flores, B. 2016. Efecto de la quema de purmas sobre la calidad del suelo en el distrito de Pichanaki – Chanchamayo (en línea). Tesis Ing. Forestal y Amb. Huancayo, Perú, UNCP. Consultado 21 enero 2020. Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3457/Aliaga%20Quispe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alva Mendoza, DM y Manosalva Caruajulca, HI. 2019. Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el cañón de Sangal, Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Amb. Cajamarca, Perú, UPN. Consultado 20 enero 2020. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21088>
- Barbaro, L; Karlanian, M; Mata, D..2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas (en línea). Argentina. 7 p. Consultado 15 diciembre 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile). 2017. Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna (en línea). Chile. P. 1. Consultado 2 enero 2020. Disponible en <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186>
- Benito, E; Varela, M.E; Rodríguez-Alleres, M. 2014. Efectos de los incendios forestales en la erosionabilidad de los suelos en Galicia (en línea). Revista Cuadernos de investigación Geografica 40(2):353-370. Consultado 15 diciembre 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/277934268_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_la_erosionabilidad_de_los_suelos_en_Galicia

- Bellido, R; Rodríguez, J; Gallego, A; Rebolledo, C. 2009. Cationes en el suelo (en línea, sitio web). Consultado 28 marzo 2019. Disponible en <https://es.slideshare.net/suelos09/cationes-en-el-suelo-2008>
- Blanquer, G; Manuel, J; Ibáñez, A; Ramon, M. 2010. La textura de un suelo (en línea). Valencia, España, UPV. Consultado 17 enero 2020. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Bodi, M; Cerdá, A; Mataix-Solera, J; Doerr, S. 2012. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica (en línea). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 2012 – 58:33-55. Consultado 14 diciembre 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3885420/1.pdf>.
- Calderón-Medina, C; Bautista-Mantilla, G; Rojas-González, S. 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta (en línea). Revista Orinoquia 22(2):141-157. Consultado 17 enero 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v22n2/0121-3709-rori-22-02-00141.pdf>
- Celis; Antonio, J; Zavala, L.2013. Efectos del fuego en las propiedades biológicas físicas y químicas del suelo (en línea). Sevilla, España. 149 p. Consultado 15 diciembre 2019. Disponible en https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros_livros/viiegfa/Artigo_12_Reyes_de_Celis.pdf
- CENAPRED. 25 abril. 2019. Incendios forestales: evítalos (en línea, blog). México. Consultado 17 enero 2020. Disponible en <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/incendios-forestales-evitalos>
- Cerón, LE. y Aristizábal, FA. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos (en línea). Revista Colombiana de Biotecnología 14(1): 285-295. Consultado 7 enero 2020. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32889>

- Courel, GF. 2019. Suelos salinos y sódicos (en línea). San Miguel de Tucumán, argentina. 4p. Consultado 16 enero 2020. Disponible en <https://www.edafologia.org/app/download/9026474176/Suelos+Salinos+y+s%C3%B3dicos+2019.pdf?t=1563476239>
- Denegri, A; Toranzo, L; Rubenacker, A; Campitelli, A; Karlin; M. 2014. Efecto de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo (en línea). Córdoba, Argentina. Consultado 12 diciembre 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/284267776_Efecto_de_los_incendios_forestales_sobre_las_propiedades_del_suelo
- Díaz, A; Cayón, G; Mira, J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión (en línea). Revista Agronomía Colombiana 25(2):280-287 Consultado 15 enero 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n2/v25n2a10.pdf>
- Espinosa, J. 2016. Potasio en suelos tropicales (en línea). Ecuador. 11 p. Consultado 7 enero 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/242690678_POTASIO_EN_SUELOS_TROPICALES
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2009. Guía Para la descripción de suelos (en línea). Roma, Italia. 21p. Consultado 20 enero 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Propiedades químicas: El pH del Suelo, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Porcentaje de Saturación de Bases (en línea, sitio web). Consultado 20 enero 2020. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Fernández, MT. 2007. Fosforo: amigo o enemigo (en línea). Revista Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar 41(2): 51-57. Consultado 6 enero 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Fogacho Chamorro, SL. 2017. Influencia del calentamiento de dos tipos de suelo en quemas experimentales realizadas en laboratorio simulando incendios forestales, sobre grupos bacterianos edáficos (en línea). Tesis Ing. Amb. Quito, Ecuador. UPS.

Consultado 4 enero 2020. Disponible en
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14113>

Gamarra Lezcano, C; Díaz Lezcano, M; Vera de Ortíz, M; Galeano, M; Cabrera Cardús, A. 2017. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9 (46): 4-26. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>

Hepper, E; Urioste, A; Belmonte, V; Buschiazzo, D. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central suelo (en línea). Revista Ciencia del suelo 26(1):29-34. Consultado 12 diciembre 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4353689>

Huerta Cantera, HE. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano (en línea). Tesis Lic. Biol. Querétaro, México, UAQ. Consultado 17 enero 2020. Disponible en https://nanopdf.com/download/determinacion-de-propiedades-fisicas-y-quimicas-de-suelos-con_pdf

INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, Perú). 2020. 1377 incendios forestales fueron reportados en lo que va del año (en línea, sitio web). Consultado 02 enero 2021. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/indeci/noticias/320135-1377-incendios-forestales-fueron-reportados-en-lo-que-va-del-ano>

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay). 2015. Los recursos naturales y el INIA (en línea). Semana de la Ciencia y Tecnología. Memoria. Tacuarembó, Uruguay, INIA. Consultado 17 enero 2020. Disponible en <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, México). 2017. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo (en línea, sitio web). Consultado 28 marzo 2019. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

- IPNI (Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, Ecuador). 2019. Carbonato de calcio (en línea). Ecuador. Consultado 17 enero 2020. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/\\$FILE/NSS-ES-18.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/$FILE/NSS-ES-18.pdf)
- Jiménez Pinilla, P. 2016. Avances en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales (en línea). Tesis Dr. Elche, España, UMHE. Consultado 14 diciembre 2019. Disponible en <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3035/1/TD%20Jim%C3%A9nez%20Pinilla%2C%20Patricia.pdf>
- Julca, A; Meneses, A; Blas, R; Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura (en línea). IDESIA 24(1):49-61. Consultado 9 julio 2021. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf>
- Lamz, A; Gonzales, M. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata (en línea). Cultivos Tropicales 34(4):31-42. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193228546005.pdf>
- Mataix-Solera, J; Guerrero, C. 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas (en línea). Elche, España. 14 p. Consultado 19 enero 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Mataix-Solera/publication/229187257_Efectos_de_los_incendios_forestales_en_las_propiedades_edaficas/links/0fcfd500835635e07c000000/Efectos-de-los-incendios-forestales-en-las-propiedades-edaficas.pdf
- Minervini, N; Morrás, H; Tobaada, M. 2018. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas (en línea). Revista Ecología Austral 28:012-027. Consultado 20 enero 2020. Disponible en http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/127
- Molina, J; Llinares, J. 2000. Comportamiento del fuego, intensidad y efectos sobre el suelo en quemas controladas de matorral valenciano en verano y en otoño (en línea). I Reunión Grupo de Incendios Forestales. Memoria. Valencia, España. CIDE. Consultado 14 diciembre 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6931092.pdf>

- MUS (Movimiento de Unidad Sucrense, Perú). 2011. Paisajes de mi tierra: Surolaja, paraíso turístico natural Sucrense (en línea, sitio web). Consultado 18 enero 2020. Disponible en <https://sucremus.blogspot.com/2011/01/paisajes-de-mi-tierra-surolaja-paraiso.html>
- Nolasco Chumpitaz, J. 2016. Niveles de fósforo y su efecto en el rendimiento y calidad del cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) CV. BLACK FIRE en Cañete (en línea). Tesis Ing. Agr. Lima, Perú, UNALM. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1978/F04-N6-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oliva Escobar, DP. 2009. Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+}$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua (en línea). Tesis Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras. EAPEZ. Consultado 16 enero 2020. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/386/1/T2804.pdf>
- Pascual Granged, AJ. 2011. Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo, Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio (en línea). Tesis Dr. Sevilla, España, US. Consultado 27 marzo 2019. Disponible en https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/72763/file_1.pdf?sequence=1
- Pellegrini, AE. 2017. Macronutriente del suelo: Nitrógeno (en línea). 3 p. Consultado 7 enero 2020. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35406/mod_resource/content/1/TEMA%2012%20-%20NITROGENO.pdf
- Pellegrini, A. 2019. Textura y color del suelo. (en línea). Consultado 7 julio 2021. Disponible en https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf
- Pereira, C; Maycotte, C; Restrepo, B; Francesco; Montes, A; Velarde, M. 2011. Edafología (en línea). Colombia. 75 p. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

- Perez, F. 2017. Nutrición mineral (en línea). 38 p. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf>
- Ramírez Rengifo, K. 2015. Efecto de dosis del fertilizante compomaster en el crecimiento de Cedrela odorata L. en Tingo María, PERÚ (en línea). Tesis para optar el grado de Ingeniero en recursos naturales renovable. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Consultado 7 julio 2021. Disponible en: http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1097/TS_KRR_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes Castañeda, P. 2002. Bioestadística aplicada: agronomía, biología, química. 2ª ed, Mexico, Trillas. 141p.
- Rivera, E; Sánchez, M; Domínguez H. 2018. pH como factor de crecimiento en plantas (en línea). Revista RIC 4(Especial):102. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/234019718.pdf>
- Rivera, Y; Moreno, L; Herrera, M; Romero, H. 2016. La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite (en línea). Palmas 37(1)11-23. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <file:///C:/Users/CHAI/Downloads/11696-Texto-12949-1-10-20160503.pdf>
- Ross, M. 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite (en línea). Revista Palmas 25(especial):98-104. Consultado 15 enero 2020. Disponible en <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1071/1071>
- Rodríguez, M; Flórez, V. 2004. Elementos esenciales y beneficiosos (en línea). Bogotá, Colombia. 33P. Consultado 16 enero 2020. Disponible en <http://repositorio.ual.es:8080/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosero Cuesta, J; Osorio Giraldo, I. 2013. Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo (en línea). Revista científica de la Facultad de Ingeniería (5): 59-67. Consultado 2 enero 2020. Disponible en <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/130/115>

- Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de León, J; Hill, M. 2004. Propiedades Físicas del Suelo (en línea). Universidad de la República. Montevideo-Uruguay. Consultado 7 julio 2021 Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sacchi, G; Campitelli, P; Soria, P; Ceppi P. 2015. Influencia de temperaturas de calentamiento sobre propiedades físicas y químicas de suelos con distinto material parental y uso antrópico (en línea). Revista Spanish Journal of Soil Science 5(3):214-226. Consultado 26 marzo 2019. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6474644.pdf>.
- Santos, A; Velasco, J; 2016. Importancia de la materia orgánica en el suelo (en línea). Agroproductividad 9(8):52-58. Consultado 9 julio 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/315114517_Importancia_de_la_materia_organica_en_el_suelo/link/58cb148ea6fdccdf531a51e0/download
- Sawczuk, N. 2009. Evaluación del efecto del tiempo de permanencia de las temperaturas máximas de quema sobre propiedades físicas y químicas de un Haplustol éntico de la región central del Caldenal (en línea). Tesis Ing. RR. NN y Medio ambiente. Santa Rosa, Argentina, UNP. Consultado 19 enero 2020. Disponible en http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/x_saweveva158.pdf
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2020. Mapa climático del Perú (en línea). Lima, Perú. Esc.1: 13,000,000. Color. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <https://idesepe.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2021. Datos hidrometeorológicos en Cajamarca (en línea, sitio web). Consultado 7 julio 2021. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- Serna Velásquez, A. 2017. Efectos en el suelo del incendio forestal de Carcaixent del 2016 (en línea). Gandía, España. 4 p. Consultado 7 enero 2020. Disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85714/memoria_20945929.pdf?sequence=1

- Toledo, M. 2016. Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos (en línea). Tegucigalpa, Honduras. 22p. Consultado 7 julio 2021. Disponible en <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>
- Úbeda, X. 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal (en línea). Revista Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 8: 41-49. Consultado 19 enero 2020. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo8/art5t8t.htm>
- Urretavizcaya, MF. 2010. Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina (en línea). Revista Bosque 31(2):140-149. Consultado 14 diciembre 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262544847_Propiedades_del_suelo_en_bosques_quemados_de_Austrocedrus_chilensis_en_Patagonia_Argentina

CAPITULO VII

ANEXOS

7.1. Resultados de laboratorio - Universidad Nacional Agraria la Molina

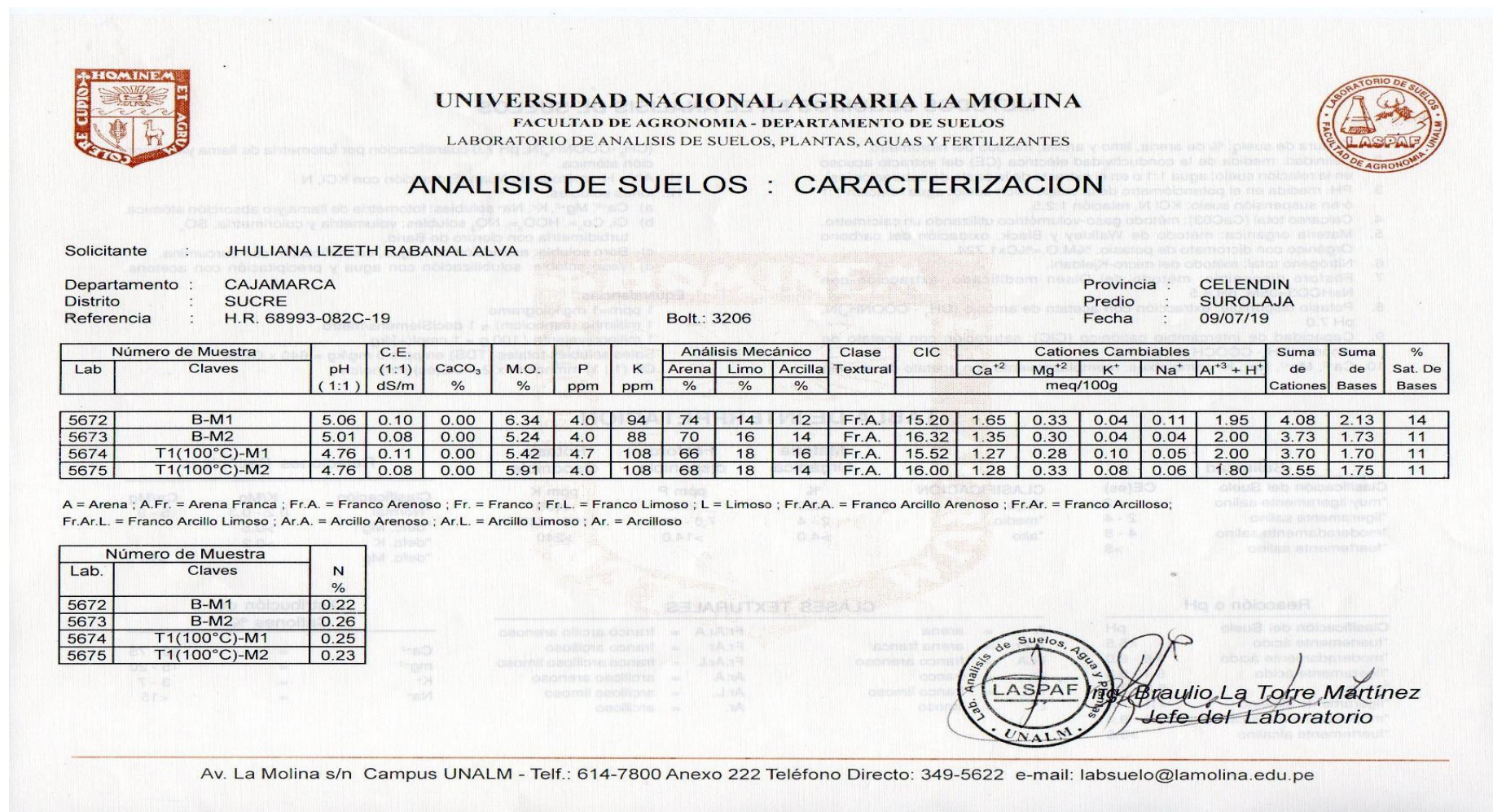


Figura 20. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 1



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JHULIANA LIZETH RABANAL ALVA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito : SUCRE

Referencia : H.R. 68993-082C-19

Bolt.: 3206

Provincia : CELENDIN

Predio : SUROLAJA

Fecha : 09/07/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5676	T2(200°C)-M1	4.47	0.47	0.00	4.91	13.4	111	68	20	12	Fr.A.	13.92	1.32	0.28	0.11	0.07	2.20	3.98	1.78	13
5677	T2(200°C)-M2	4.46	0.49	0.00	4.60	14.5	112	62	22	16	Fr.A.	13.44	1.27	0.27	0.09	0.05	2.30	3.98	1.68	12
5678	T3(300°C)-M1	4.72	0.36	0.00	4.57	12.8	120	62	22	16	Fr.A.	11.84	1.21	0.32	0.12	0.04	1.40	3.09	1.69	14
5679	T3(300°C)-M2	4.75	0.35	0.00	4.43	11.2	116	60	22	18	Fr.A.	11.20	1.28	0.28	0.12	0.05	1.20	2.94	1.74	16

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

Número de Muestra		N %
Lab.	Claves	
5676	T2(200°C)-M1	0.23
5677	T2(200°C)-M2	0.24
5678	T3(300°C)-M1	0.22
5679	T3(300°C)-M2	0.20



Ing. Braulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

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

Figura 21. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 2



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JHULIANA LIZETH RABANAL ALVA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito : SUCRE

Referencia : H.R. 68993-082C-19

Bolt.: 3206

Provincia : CELENDIN

Predio : SUROLAJA

Fecha : 09/07/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
5680	T4(400°C)-M1	5.06	0.43	0.00	3.15	15.1	117	72	24	4	Fr.A.	8.32	1.03	0.28	0.09	0.05	0.45	1.91	1.46	18
5681	T4(400°C)-M2	5.06	0.70	0.00	3.45	13.8	115	74	22	4	Fr.A.	8.80	1.44	0.27	0.10	0.07	0.65	2.53	1.88	21
5682	T5(500°C)-M1	5.65	0.17	0.00	1.27	17.7	154	72	22	6	Fr.A.	5.60	0.83	0.35	0.19	0.05	0.05	1.48	1.43	25
5683	T5(500°C)-M2	5.69	0.20	0.00	1.59	18.7	164	74	20	6	Fr.A.	4.80	0.86	0.38	0.23	0.07	0.05	1.59	1.54	32

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

Número de Muestra		N %
Lab.	Claves	
5680	T4(400°C)-M1	0.16
5681	T4(400°C)-M2	0.17
5682	T5(500°C)-M1	0.10
5683	T5(500°C)-M2	0.09



Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

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

Figura 22. Resultados de laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina – Parte 3

7.2. Ficha de Campo

.....

Complejo..... Serie..... Calicata N° S-01

Clasificación natural: Soil Taxonomy..... FAO.....

Clasificación Técnica VII

Localidad SUROLAJA / conga de Urquía / Sucre Reg. H° Reg. T°.....

Vegetación o cultivo Pinus patula, Zarzamora

Material Madre Ajuniscas

Fisiografía Ladera Permeabilidad Distribución de Raíces 60 cm

Relieve Empinado Drenaje Bueno Salinidad o Alcalinidad.....

Elevación 2597 msnm. Escurrimiento superficial Moderada Pedregosidad Superficial 1

Pendiente 45% Napa Freática No existe

Erosión nula Humedad No existe en la sección de control

Notas Adicionales.....

.....

Fecha: 26-06-19

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

Muestras.....
 Foto N°.....

Coordenadas

N 9228731
 E 819326

Figura 23. Ficha de campo correspondiente a la calicata S - 01

Horizonte	Profundidad Cm	COLOR		Clase textural	Modificador textural o moteado	Película de arcilla	Estruc- tura	Consistencia			pH	CO ₃	Límite
		Seco	Húmedo					S	H	M			
O ₁	0-5	-											C ₁
O ₂	5-8	-											C ₁
A ₁	8-28/30	10YR 4/3	10YR 3/4	Fr A	-	-	Ba, f, m, 1	Av	Fr	Pa	6	-	90
B _t	28/30-60	10YR 5/8	7.5YR 4/4	FArL	-	-	Ba, m, g, 2	fd	f, m	pl	5.0	-	a.0
B _c	760	7.5YR 5/8	7.5YR 4/4	ArL	-	-	Ba, m, g, 2	d	f, m	pl	4.5	-	

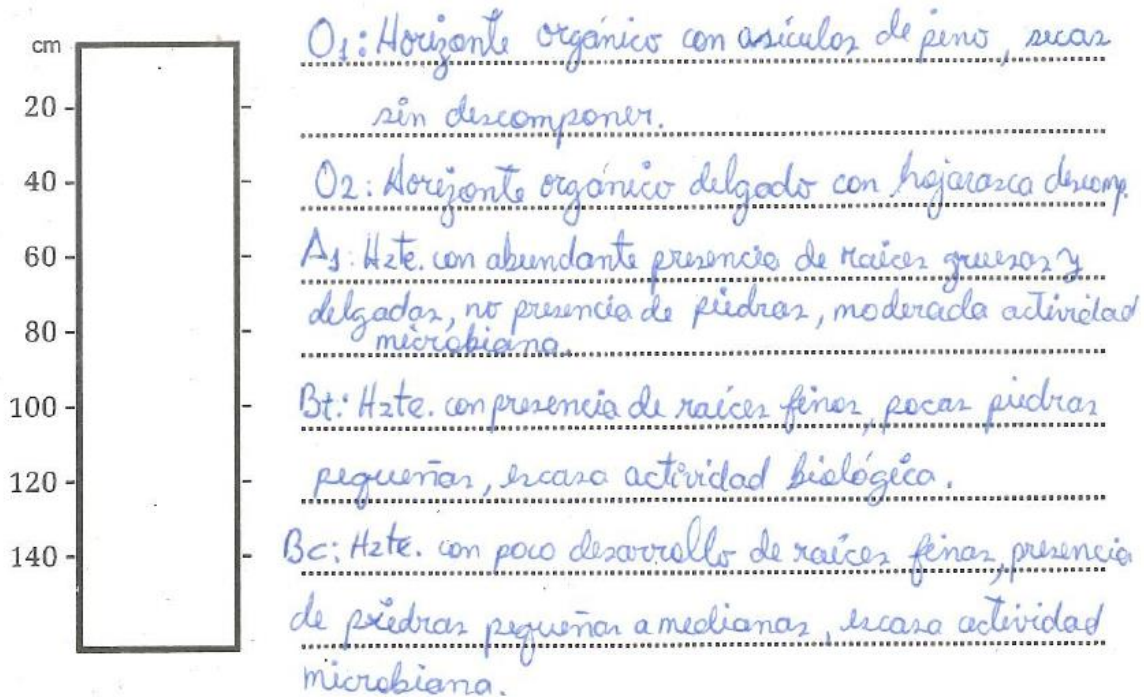


Figura 24. Ficha de campo correspondiente a la calicata S - 01

7.3. Análisis Estadístico

- pH

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para el pH.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	1.71034	0.342068	804.87	0.000**
Error	6	0.00255	0.000425		
Total	11	1.71289			

** Alta significación estadística.

CV = 0.42 %

Tabla 8. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el pH.

Temperatura	pH	Agrupación por Tukey
500 °C	5.67	A
400 °C	5.06	B
Testigo	5.04	B
100 °C	4.76	C
300 °C	4.74	C
200 °C	4.47	D

- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.40970	0.081940	13.01	0.004**
Error	6	0.03780	0.006300		
Total	11	0.44750			

** Alta significación estadística.

CV = 26.46 %

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la conductividad eléctrica

Temperatura	Conductividad eléctrica	Agrupación por Tukey		
400 °C	0.57	A		
200 °C	0.48	A	B	
300 °C	0.36	A	B	C
500 °C	0.19		B	C
100 °C	0.10			C
Testigo	0.09			C

- **MATERIA ORGÁNICA**

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	27.0913	5.4183	36.98	0.000**
Error	6	0.8791	0.1465		
Total	11	27.9704			

** Alta significación estadística.

CV = 9.02%

Tabla 12. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la materia orgánica

Temperatura	Materia Orgánica	Agrupación por Tukey		
Testigo	5.79	A		
100 °C	5.67	A		
200 °C	4.76	A	B	
300 °C	4.50	A	B	
400 °C	3.30		B	
500 °C	1.43			C

- FÓSFORO DISPONIBLE

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para el fósforo disponible

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	333.034	66.6068	115.00	0.000**
Error	6	3.475	0.5792		
Total	11	336.509			

** Alta significación estadística.

CV= 6.82%

Tabla 14. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el fósforo disponible.

Temperatura	Fósforo	Agrupación por Tukey
500 °C	18.20	A
400 °C	14.45	B
200 °C	13.95	B
300 °C	12.00	B
100 °C	4.35	C
Testigo	4.00	C

- POTASIO DISPONIBLE

Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para el potasio disponible.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	5105.75	1021.15	78.05	0.000**
Error	6	78.5	13.08		
Total	11	5184.25			

** Alta significación estadística.

CV= 3.08 %

Tabla 16. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el potasio disponible.

Temperatura	Potasio	Agrupación por Tukey	
500 °C	159.00	A	
300 °C	118.00		B
400 °C	116.00		B
200 °C	111.50		B
100 °C	108.00		B
Testigo	91.00		C

- **NITRÓGENO**

Tabla 17. Análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.033475	0.006695	29.76	0.000**
Error	6	0.001350	0.000225		
Total	11	0.034825			

** Alta significación estadística.

CV= 7.59 %

Tabla 18. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el nitrógeno

Temperatura	Nitrógeno	Agrupación por Tukey	
Testigo	0.24	A	
100 °C	0.24	A	
200 °C	0.23	A	
300 °C	0.21	A	B
400 °C	0.17		B
500 °C	0.10		C

- **ARENA**

Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) para la arena

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	247.00	49.400	8.72	0.010*
Error	6	34.00	5.667		
Total	11	281.00			

*Significación estadística.

CV= 3.47 %

Tabla 20. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la arena

Temperatura	Arena	Agrupación por Tukey	
500 °C	73.00	A	
400 °C	73.00	A	
Testigo	72.00	A	
100 °C	67.00	A	B
200 °C	65.00	A	B
300 °C	61.00		B

- **LIMO**

Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) para el limo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	88.000	17.600	13.20	0.003**
Error	6	8.000	1.333		
Total	11	96.000			

** Alta significación estadística.

CV= 5.77%

Tabla 22. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el limo

Temperatura	Limo	Agrupación por Tukey		
400 °C	23.00	A		
300°C	22.00	A	B	
500 °C	21.00	A	B	
200 °C	21.00	A	B	
100 °C	18.00		B	C
Testigo	15.00			C

- **ARCILLA**

Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para la arcilla

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	275.00	55.000	23.57	0.001**
Error	6	14.00	2.333		
Total	11	289.00			

** Alta significación estadística.

CV= 13.28%

Tabla 24. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la arcilla

Temperatura	Arcilla	Agrupación por Tukey		
300 °C	17.00	A		
100 °C	15.00	A		
200 °C	14.00	A		
Testigo	13.00	A		
500 °C	6.00		B	
400 °C	4.00		B	

- **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de intercambio catiónico

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	178.033	35.6066	142.65	0.000**
Error	6	1.498	0.2496		
Total	11	179.531			

** Alta significación estadística

CV= 4.25 %

Tabla 26. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la C.I.C.

Temperatura	C.I.C	Agrupación por Tukey			
Testigo	15.76	A			
100 °C	15.76	A			
200 °C	13.68		B		
300 °C	11.52			C	
400 °C	8.56				D
500 °C	5.20				E

- **CALCIO**

Tabla 27. Análisis de varianza (ANOVA) para el calcio (Ca⁺²)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p – valor
Temperatura	5	0.4552	0.09104	4.10	0.058 ^{NS}
Error	6	0.1332	0.02221		
Total	11	0.5884			

NS: No existe significación estadística

CV= 12.11 %

Tabla 28. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el calcio (Ca^{+2})

Temperatura	Calcio (Ca^{+2})	Agrupación por Tukey	
Testigo	1.50	A	
200 °C	1.30	A	B
100 °C	1.28	A	B
300 °C	1.25	A	B
400 °C	1.24	A	B
500 °C	0.85		B

- **MAGNESIO**

Tabla 29. Análisis de varianza (ANOVA) para el magnesio (Mg^{+2})

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.011505	0.002301	4.32	0.052 ^{NS}
Error	6	0.003194	0.000532		
Total	11	0.014699			

NS: No existe significación estadística

CV=7. 51%

Tabla 30. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el magnesio (Mg^{+2})

Temperatura	Magnesio (Mg^{+2})	Agrupación por Tukey
500 °C	0.37	A
Testigo	0.32	A
100 °C	0.31	A
300 °C	0.30	A
400 °C	0.28	A
200 °C	0.28	A

- **POTASIO**

Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) para el potasio (K⁺)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.033390	0.006678	35.43	0.000**
Error	6	0.001131	0.000188		
Total	11	0.034521			

** Alta significación estadística

CV= 12.53%

Tabla 32. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el potasio (K⁺)

Temperatura	Potasio (K⁺)	Agrupación por Tukey		
500 °C	0.21	A		
300 °C	0.12		B	
400 °C	0.10		B	
200 °C	0.10		B	
100 °C	0.09		B	C
Testigo	0.04			C

- **SODIO**

Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) para el Sodio (Na⁺)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.000983	0.000197	0.40	0.833 ^{NS}
Error	6	0.002949	0.000491		
Total	11	0.003932			

NS: No existe significación estadística

CV= 36.40%

Tabla 34. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el Sodio (Na^+)

Temperatura	Sodio (Na^+)	Agrupación por Tukey
Testigo	0.08	A
500 °C	0.06	A
400 °C	0.06	A
200 °C	0.06	A
100 °C	0.06	A
300 °C	0.05	A

- ALUMINIO E HIDRÓGENO

Tabla 35. Análisis de varianza (ANOVA) para el aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Factor	5	7.66937	1.53387	138.92	0.000**
Error	6	0.06625	0.01104		
Total	11	7.73562			

** Alta significación estadística

CV= 7.85 %

Tabla 36. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre el aluminio e hidrógeno ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$)

Temperatura	$\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$	Agrupación por Tukey
200 °C	2.25	A
Testigo	1.98	A
100 °C	1.90	A
300 °C	1.30	B
400 °C	0.55	C
500 °C	0.05	D

- **SUMA DE CATIONES**

Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) para suma de cationes

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	9.8371	1.96741	41.63	0.000**
Error	6	0.2836	0.04726		
Total	11	10.1206			

** Alta significación estadística

CV= 7.13 %

Tabla 38. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la suma de cationes

Temperatura	Suma de cationes	Agrupación por Tukey			
200 °C	3.98	A			
Testigo	3.91	A			
100 °C	3.63	A	B		
300 °C	3.02		B	C	
400 °C	2.22			C	D
500 °C	1.54				D

- **SUMA DE BASES**

Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA) para suma de bases

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Temperatura	5	0.2055	0.04111	1.35	0.357 ^{NS}
Error	6	0.1822	0.03036		
Total	11	0.3877			

NS: No existe significación estadística

CV= 10.19 %

Tabla 40. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la suma de bases

Temperatura	Suma de bases	Agrupación por Tukey
Testigo	1.93	A
200 °C	1.73	A
100 °C	1.73	A
300 °C	1.72	A
400 °C	1.67	A
500 °C	1.49	A

- SATURACIÓN DE BASES

Tabla 41. Análisis de varianza (ANOVA) para saturación de bases

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p - valor
Factor	5	452.07	90.415	14.99	0.002**
Error	6	36.20	6.033		
Total	11	488.27			

** Alta significación estadística

CV= 14. 44%

Tabla 42. Prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de la temperatura sobre la saturación de bases

Temperatura	Saturación de bases	Agrupación por Tukey
500 °C	28.50	A
400 °C	19.50	A
300 °C	15.00	B
200 °C	12.50	B
Testigo	12.50	B
100 °C	11.00	B

7.4. Panel Fotográfico



Figura 25. Área de estudio - bosque de Pinus patula en Surolaja, Sucre.



Figura 26. Examinación del suelo en la calicata S – 01.



Figura 27. Medida de la profundidad del suelo para la toma de muestra.



Figura 28. Toma de muestras



Figura 29. Cuarteo de suelo



Figura 30. Horno cerámico a gas controlado con termocupla digital.



Figura 31. Muestras de suelo en el horno.



Figura 32. Muestra de suelo testigo.

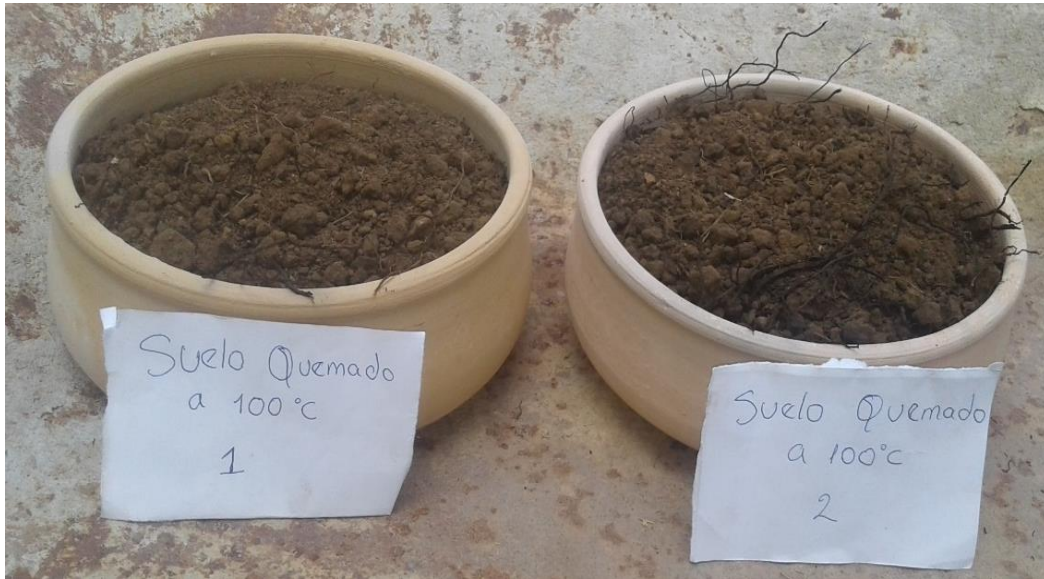


Figura 33. Muestras de suelo quemado a 100 °C



Figura 34. Muestras de suelo quemado a 200 °C



Figura 35. Muestras de suelo quemado a 300 °C



Figura 36. Muestras de suelo quemado a 400 °C



Figura 37. Muestras de suelo quemado a 500 °C



Figura 38. Etiquetado de las muestras de suelo.