



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFECTO DEL FUEGO EN LAS PROPIEDADES
QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CAÑÓN DE
SANGAL, CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Denisse Milagros Alva Mendoza
Héctor Iván Manosalva Caruajulca

Asesor:

Mg. Marieta Cervantes Peralta

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedicamos nuestra tesis:

A nuestras familias, amigos y docentes, por ayudarnos a crecer en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos:

A nuestros padres, por su apoyo incondicional.

A la Mg. Marieta Cervantes Peralta, por su asesoramiento en la elaboración de nuestra
tesis.

Al Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, por su invaluable orientación en nuestra
investigación.

Al Ing. Francisco Vásquez Tapia, por su orientación en el geoprocesamiento de la
información.

Al Ing. Julio Vilca Aquino, por su asesoramiento en los análisis estadísticos.

A la Mg. Magda Velásquez Marín por sus consejos y ánimo para terminar nuestra tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	26
1.3. Objetivos.....	26
1.4. Hipótesis	27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	28
2.1. Tipo de investigación.....	28
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	28
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	30
2.4. Procedimiento	33
CAPÍTULO III. RESULTADOS	35
3.1. Descripción del área de estudio	35
3.2. Resultados de laboratorio	36
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	45
4.1 Discusión	45
4.2 Conclusiones.....	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de técnicas e instrumentos de la investigación</i>	31
Tabla 2 <i>Resultados de análisis de suelo de 0 -10 cm de profundidad</i>	37
Tabla 3 <i>Resultados de análisis de suelo de 10 - 20 cm de profundidad</i>	38
Tabla 4 <i>Resultados de análisis de color de suelo de 0 - 10 cm de profundidad</i>	40
Tabla 5 <i>Resultados de análisis de color de suelo de 10 - 20 cm de profundidad</i>	41
Tabla 6 <i>Resultados del análisis de varianza ANOVA y prueba de Tukey</i>	42

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> CaCO ₃ (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	45
<i>Figura 2.</i> Fósforo disponible (ppm) del suelo de las parcelas estudiadas.	46
<i>Figura 3.</i> Potasio disponible (ppm) del suelo de las parcelas estudiadas.	48
<i>Figura 4.</i> Nitrógeno total (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	49
<i>Figura 5.</i> Ca ²⁺ cambiable (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.	51
<i>Figura 6.</i> Mg ²⁺ cambiable (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.	52
<i>Figura 7.</i> K ⁺ cambiable (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.	53
<i>Figura 8.</i> Na ⁺ cambiable (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.	54
<i>Figura 9.</i> CIC cambiable (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.	55
<i>Figura 10.</i> Suma de bases del suelo de las parcelas estudiadas.	56
<i>Figura 11.</i> pH del suelo de las parcelas estudiadas.	57
<i>Figura 12.</i> Conductividad eléctrica (dS/m) del suelo de las parcelas estudiadas.	59
<i>Figura 13.</i> Arena (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	61
<i>Figura 14.</i> Limo (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	62
<i>Figura 15.</i> Arcilla (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	62
<i>Figura 16.</i> Materia Orgánica (%) del suelo de las parcelas estudiadas.	64

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca, tres meses después de un incendio forestal. La evaluación se realizó en seis condiciones de estudio generadas por la combinación de parcelas sin quemar, parcialmente quemadas y completamente quemadas y las profundidades de muestreo de 0 - 10 cm y de 10 - 20 cm. Se observó un mayor efecto del fuego en los 10 cm superiores del suelo, registrándose una alta significación estadística en la conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, magnesio cambiante; significación estadística en el potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico, concentraciones que se incrementaron en las parcelas quemadas. No se registraron diferencias significativas en el pH, textura y en disponibilidad de calcio total, fósforo disponible, calcio, potasio y sodio cambiante entre las condiciones de estudio. Con relación al color del suelo, en parcelas afectadas por el fuego, el matiz Munsell no varió, el brillo disminuyó ligeramente y la intensidad se mantuvo. Los cambios en las propiedades del suelo fueron causados principalmente por el incremento de la temperatura en el incendio, incorporación de cenizas al suelo por la combustión y condiciones climáticas post fuego.

Palabras clave: incendio forestal, suelo, propiedades químicas del suelo, Cañón de Sangal.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los bosques del mundo presentan graves retrocesos, pues año tras año se van destruyendo principalmente por la acción del hombre (Calvo & Sanhueza, 2008). En estos ecosistemas existen altas tasas de deforestación siendo una de las causas principales los incendios forestales no planificados (Aguirre, Reyes, Quizhpe, & Cabrera, 2017; Ayma & Padilla, 2009). En los últimos años, en el mundo, la frecuencia del fuego ha aumentado, situación asociada tanto a cambios en el clima como a las prácticas agropecuarias (González, Lara, Urrutia, & Bosnich, 2011). El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre indica que en el Perú los incendios forestales “en casi todos los casos se inician como consecuencia de malas prácticas antes o durante las actividades agropecuarias, por desconocimiento o descuido y en menor grado se producen por acciones intencionadas o negligentes” (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2015).

Los incendios forestales son eventos que generan gran impacto negativo en el suelo, como consecuencia de la eliminación de la flora y debido a la alteración de los procesos biogeoquímicos provocando unos cambios sobre las propiedades edafológicas (Cervera, 2018). Además de los impactos al medio ambiente, los incendios generan impactos negativos a las familias que viven en las zonas aledañas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2017). El fuego también puede ser benéfico, pues muchos ecosistemas dependen de él para su regeneración (Capulín, Mohedano, & Razo, 2010). Los incendios forestales no necesariamente afectan la

biodiversidad de los ecosistemas, sino que contribuyen a la misma y además promueven la heterogeneidad del ecosistema¹ (Tagle et al., 2007).

El Cañón del Sangal se encuentra ubicado en la carretera Cajamarca - Combayo en la Región Cajamarca. Esta área alberga una alta diversidad, representada en aproximadamente 70 especies de aves, de las cuales 7 son endémicas, diversidad faunística que tiene como fuente de alimento a la vegetación herbácea y arbustiva del área. El día 08 de setiembre del año 2018, se reportó un incendio forestal que afectó a más de 120 ha de este ecosistema (Roncal, 2018).

En las últimas décadas, la modificación del régimen natural de incendios en evidente en la sierra peruana, el Cañón del Sangal no es ajeno a esta realidad. La mayor frecuencia de incendios en estas áreas se debe principalmente al cambio de uso del suelo y prácticas agropecuarias que incluyen el manejo del fuego de manera inadecuada.

Los efectos del fuego en el ecosistema del Cañón del Sangal es desconocido, sin embargo, se puede inferir que ha causado impactos ambientales negativos. Las propiedades del suelo probablemente han sido alteradas, afectando los ciclos biogeoquímicos y el ciclo hidrológico y con ello el funcionamiento del ecosistema a corto, mediano y largo plazo. Las alteraciones que causa el incendio sobre el suelo se derivan principalmente del calentamiento directo producido por el fuego, así como otros cambios producidos por la combustión de la vegetación y fauna silvestre y consecuente pérdida temporal de la cubierta vegetal y recubrimiento del suelo por cenizas.

¹ Diversidad biológica, variedad de formas de vida.

Es necesario conocer los efectos del fuego sobre el suelo en el Cañón del Sangal, pues el suelo pudo sufrir múltiples alteraciones, las que pueden afectar considerablemente el desarrollo del ecosistema. Para proponer medidas de recuperación post fuego en ecosistemas, es necesario profundizar en las investigaciones. La investigación que se desarrollará supone una contribución con avances del conocimiento de las alteraciones causadas por el fuego en las propiedades químicas del suelo.

1.1.1. Antecedentes

Pascual, en el año 2011 presentó la tesis titulada “Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio”, la cual tuvo por objetivo estudiar el efecto del fuego en las principales propiedades físicas y químicas de los suelos. Estudió los efectos en la estabilidad estructural, repelencia al agua, acidez, contenido de materia orgánica y textura. La metodología consistió en aplicar incendios experimentales en un bosque de eucalipto cercano al Parque Nacional Namadgi, en Australia, en brezales Mediterráneos, robledales y pinares en España. Aplicó cuatro intensidades de fuego, logrando ello mediante la adición de cargas de combustible de 0 Kg m⁻² (control), 2 Kg m⁻² (baja intensidad), 4 Kg m⁻² (intensidad moderada) y 8 Kg m⁻² (intensidad alta). En el análisis de datos utilizó el test Shapiro-Wilk, Brown-Forsyth, Krusal-Wallis y test de comparación múltiple de Dunn. Registró incremento significativo en el pH del suelo con la intensidad del fuego inmediatamente después del fuego, disminuyendo con el paso del tiempo. Asimismo, registró variaciones poco importantes en la textura del suelo, aunque el contenido de

arcilla disminuyó ligeramente. Asimismo, indica que el fuego contribuyó a un incremento del flujo preferencial, y tasas de erosión en España.

El artículo científico denominado “Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal”, fue publicado por Úbeda, en el año 2001, y tuvo por objetivo conocer la influencia de la intensidad del fuego en los cambios que experimentan algunos parámetros del suelo, en macizos forestales en España. Realizó el muestreo un día después de un incendio forestal, en los tres primeros centímetros de profundidades del suelo, en zonas de baja, mediana y alta intensidad del fuego. Registró cambios en la textura del suelo, incremento en el potasio y pH, y disminución en el contenido de nitrógeno, en todas las parcelas. Registró disminución en el contenido de calcio asimilable y magnesio notablemente en la zona de baja intensidad de fuego y, por el contrario, aumento en la zona de media intensidad. Asimismo, observó aumento en el contenido de carbono en zonas menos quemadas y una leve disminución en zonas más intensamente quemadas.

Afif y Oliveira, en el año 2006, publicaron un artículo científico denominado “Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo”, y tuvo como objetivo analizar los cambios que experimentan algunas de las propiedades del suelo tras una quema controlada de matorral en España. Realizaron muestreo de suelo una hora antes de la quema prescrita, e inmediatamente después del incendio, a los 7, 30 y 90 días a profundidades de 0 a 2, 2 a 5 y 5 a 10 cm. Analizaron los datos mediante el análisis de varianza (ANOVA). Concluyeron que a los 7, 30 y 90 días después del fuego controlado, se produjeron alteraciones de las propiedades del suelo en todas las profundidades, registrando incremento momentáneo de la fertilidad del suelo afectado por el fuego, principalmente en el contenido de fósforo asimilable.

En el año 2010 se publicó el artículo científico titulado “Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio”, elaborado por Capulín, Mohedano y Razo, el cual tuvo por objetivo investigar la influencia de un incendio forestal natural, moderado y superficial, sobre la vegetación y el suelo en México. La metodología utilizada consistió en tomar muestras compuestas de suelos integradas por cuatro submuestras, tomadas aleatoriamente a profundidades de 0 a 5 y 5 a 30 cm, generando cuatro condiciones de estudio que se evaluaron en cinco parcelas de muestreo de 25 m² (tres parcelas en áreas afectadas por el fuego y dos en áreas no afectadas) a los 15, 180, 365 y 540 días. Evaluaron pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo y textura. Asimismo, evaluaron la vegetación por el método del barrido a los 30, 180 y 540 días después del incendio. Utilizaron las herramientas de análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey entre condiciones, con una probabilidad del 95 %. Registraron que, en áreas afectadas por el fuego, el pH del suelo se incrementó significativamente, la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total disminuyeron, el fósforo incrementó su contenido, así como la proporción de arena en detrimento de la arcilla. Concluyeron que el incendio ocasionó cambios en el suelo, los cuales son más notorios en la capa superficial (0 a 5 cm). Además, concluyeron que el establecimiento de especies pioneras, después del incendio, modifica las propiedades químicas, físicas y biológicas en el suelo; y que, a los 540 días, la vegetación incrementa su densidad y diversidad.

En el año 2016, Valdes, Martínez, Bonilla y Castillo publicaron el artículo científico titulado “Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba”, con el objetivo de determinar el efecto del fuego en algunas de las características químicas y físicas en los suelos de pinares. La

evaluación lo realizó considerando un muestreo aleatorio a profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm en rodales afectados y no afectados por el fuego, un año y cuatro años después de ocurrido un incendio. Registraron diferencias significativas en los valores de materia orgánica, fósforo, potasio y características físicas, mientras no registraron diferencias significativas en el pH entre el área quemada y la no quemada. Tres años luego del incendio, observaron una recuperación del contenido de materia orgánica.

El artículo científico denominado “Efectos del fuego controlado sobre propiedades del suelo en pastizales naturales del sur Bonaerense”, fue publicado en el año 2005 por Amiotti, Bravo, Giorgetti, Montenegro y Rodríguez, y tuvo por objetivo evaluar los cambios producidos por la quema prescrita de pastizales naturales en las propiedades del suelo en Argentina. El muestreo lo realizaron en 8 parcelas de 40 m² que habían sido sometidas a pastoreo rotativo y sometidas a quema controlada. En los primeros 5 cm del suelo tomaron 3 muestras compuestas antes de la quema y 6 meses después. En el análisis de datos utilizaron un diseño apareado y las diferencias se compararon por test "t", con $p < 0,05$; asimismo, efectuaron una regresión lineal entre el fósforo y pH. Concluyeron que el fuego provocó cambios significativos en el pH actual y CO; asimismo, registraron cambio en la relación carbono nitrógeno (C/N); por el contrario, registraron una disminución del fósforo; además, no registraron cambios en el nitrógeno total.

El artículo científico denominado “Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina”, publicado por Urretavizcaya, en el año 2010, tuvo por objetivo analizar los cambios en las principales propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en áreas de bosque

de *Austrocedrus chilensis* quemadas cinco años antes, así como la capacidad de recuperación de las propiedades. La evaluación se realizó en áreas no quemadas, parcialmente quemadas y completamente quemadas en los primeros 10 cm de profundidad. Analizó los datos mediante análisis de varianza en bloques desbalanceados con repeticiones, considerando cada tipo de vegetación, nivel de afectación por fuego y profundidad. Aquellas variables que dieron significativas en el ANOVA ($p < 0,05$) fueron luego analizadas con test de Tukey. Concluyó que el contenido de nutrientes del suelo se ha recuperado con el transcurrir el tiempo desde la ocurrencia del fuego.

El artículo científico titulado “Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* afectados por fuego”, de autoría La Manna y Barroetaveña, publicado en el año 2011, tiene por objetivo caracterizar la fertilidad química del suelo de formaciones boscosas del bosque andino patagónico, nueve meses después de ocurrido un incendio. Realizó la toma de muestras compuestas en dos profundidades del suelo 0 a 5 cm y 5 a 10 cm, considerando tres condiciones de afectación por fuego (control no quemado, poco quemado y muy quemado). Concluyó que el fuego afectó con mayor severidad en la capa superficial del suelo (0 a 5 cm), registrando aumentos significativos de pH y conductividad eléctrica, y disminución de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, CIC y sodio. Asimismo, que a profundidades de 5 a 10 cm se evidenciaron disminución de materia orgánica y nitrógeno total y aumento de azufre.

El artículo científico denominado “Acidez y capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por incendios: métodos de determinación e interpretación de resultados”, presentado por Gil, Zavala, Bellinfante, Cerdà y Jordán

en el año 2010, tuvo como objetivo discutir la importancia del pH y la capacidad de intercambio catiónico del suelo como índices del impacto causado por el fuego, proponiendo métodos estandarizados para su determinación y aplicándolos a un caso práctico. Con la finalidad de evaluar los efectos del fuego en la acidez y la capacidad de intercambio catiónico del suelo tomaron muestras a una profundidad de 0-25 cm en 24 puntos representativos, seleccionados en el área afectada por el incendio de Aldeaquemada (Jaén, España) en 2004 y 24 puntos de control en zonas no afectadas por el fuego, a 20 km de distancia. Los autores concluyeron que el pH de los suelos quemados presentó valores promedios significativamente mayores que el de los suelos no afectados por el fuego, registraron un efecto en el pH hacia la neutralidad.

La tesis titulada “Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo”, presentada por Cáceres en el año 2018, tuvo por objetivo determinar el efecto de la quema de vegetación tipo pastizal en las propiedades físicas y químicas del suelo, en el distrito de Huancayo, Perú. Realizó un muestreo compuesto al azar, a profundidades de 0 a 5 cm y 5 a 10 cm, en tres áreas quemadas y dos no quemadas. Procesó los datos mediante el análisis de variancia de cada una de las propiedades, aplicando posteriormente la prueba de comparación múltiple de Duncan para los promedios. El autor concluyó que no presentaron diferencias significativas entre las condiciones de estudio para el contenido de limo y arcilla, pero sí para el contenido de limo, siendo este último menor en el suelo quemado a profundidades de 0 a 5 cm. Asimismo, registró que la densidad aparente fue mayor en el suelo quemado que en el suelo sin quemar. No registró diferencias estadísticas significativas en las propiedades químicas del suelo (pH, CE, materia orgánica, P y K, CIC, saturación de bases y acidez intercambiable) en áreas afectadas y no por el fuego.

1.1.2. Bases teóricas

Efectos del fuego en el suelo

Los incendios modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y el grado de afectación depende, por un lado, del tipo de vegetación existente, de la intensidad y duración del incendio y, por otro, de las características del suelo, del clima y la topografía (Capulín et al., 2010; González et al., 2011; Temporetti, 2006; Vélez, 2009; Xelhuantzi, Garnica, Germán, Durán, & Agustín, 2011).

Estudios realizados en México indican que los cambios en el suelo ocasionados por el incendio son más notorios en la capa superficial (0 - 5 cm), ya que los contenidos de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total se reducen; por el contrario el contenido de fósforo y pH se incrementan, cambios mínimos en estas variables a mayor profundidad del suelo (5 - 30 cm) (Capulín et al., 2010).

Asimismo, luego de un incendio forestal, la fertilidad del suelo afectado por el fuego, se incrementa de forma momentánea, principalmente en el contenido de fósforo asimilable en los primeros centímetros del perfil del suelo (Afif & Oliveira, 2006).

Propiedades químicas del suelo

Los incendios forestales reducen el contenido de materia orgánica, calcio y aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Giorgis, Cingolani, & Cabido, 2013). Además, alteran el ciclo de nutrientes, ya que la combustión de restos vegetales, materia orgánica y vegetación viva, incrementan la disponibilidad de algunos nutrientes y otros son volatilizados (Capulín et al., 2010; Urretavizcaya, 2010).

En estudios realizados en bosques de *Pinus patula*, observaron que las propiedades químicas afectadas por los incendios forestales se reflejan en una disminución en la concentración de materia orgánica, potasio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso (Maycotte, Velázquez, & Vargas, 2002). Se han reportado aumentos significativos en la conductividad eléctrica, CIC y sodio (La Manna & Barroetaveña, 2011). No obstante, algunos investigadores no han registrado diferencias estadísticas significativas en las propiedades químicas del suelo (pH, CE, materia orgánica, P y K, CIC, saturación de bases y acidez intercambiable) en áreas afectadas y no por el fuego (Cáceres, 2018).

El pH del suelo es uno de los más afectados por el fuego, generalmente registrándose incrementos significativos relacionados directamente con la intensidad del fuego inmediatamente después del mismo, disminuyendo con el paso del tiempo (Capulín et al., 2010; Gil, Zavala, Bellinfante, & Jordán, 2010; Pascual, 2011; Úbeda, 2001).

El nitrógeno total, materia orgánica y carbono orgánico tienden a disminuir con el paso del fuego (Capulín et al., 2010); sin embargo, también se han reportado incrementos, y no afecciones de su concentración (Úbeda, 2001).

Luego de incendio, el fósforo tiende a incrementar su concentración en el suelo. En boques quemados de Pino en México (Capulín et al., 2010), en matorrales quemados en España (Afif & Oliveira, 2006), en pinares en Cuba (Valdes, Martínez, Bonilla, & Castillo, 2016), en pastizales en Huancayo (Cáceres, 2018), entre otros, se han reportado comportamientos similares.

Se han registrado disminución en el contenido de calcio asimilable y magnesio notablemente en la zona de baja intensidad de fuego y, por el contrario, aumento en la zona de media intensidad (Úbeda, 2001)

EL efecto del fuego es más acusado en los primeros centímetros del suelo (Capulín et al., 2010; La Manna & Barroetaveña, 2011). El contenido de nutrientes del suelo afectado por un incendio tienden a recuperarse con el transcurrir el tiempo (Urretavizcaya, 2010).

Propiedades físicas del suelo

En el suelo, las propiedades físicas que se modifican en un incendio forestal son: el color y la capacidad de retener humedad a consecuencia de la pérdida de la cubierta forestal (Capulín et al., 2010).

Asimismo, indican que, en incendios forestales de alta intensidad, la estructura y textura del suelo también se pueden modificar (A. Navarro, Figueroa, Sangerman, & Osuna, 2012). No obstante, en investigaciones se han registrado variaciones poco importantes en la textura del suelo (Pascual, 2011), e incluso no se han registrado variaciones (Cáceres, 2018).

Las propiedades físicas del suelo, tales como estructura, porosidad, infiltración, retención de agua, entre otras, son parámetros importantes de evaluar para el manejo sustentable del recurso e identificación de indicadores físicos del suelo (A. Navarro et al., 2012).

Carbonatos

Los carbonatos son sales del ácido carbónico generalmente presentes en rocas sedimentarias y metamórficas (Lanfranco, Pellegrini, & Cattani, 2014). El carbonato

de calcio (CaCO_3) es una sal poco soluble que cumple un papel fundamental en la estructura del suelo. Es utilizada en la agricultura como enmienda para neutralizar el pH de suelos ácidos y para suministrar el nivel de Calcio (Ca) para la nutrición de las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo de los seres vivos, en los cuales forma parte de las proteínas, y está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de las plantas. Por tanto, el nitrógeno es considerado como un factor limitante en el crecimiento de las plantas (García & Navarro, 2003).

Es asimilado por las plantas en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a). El nitrógeno del suelo, en condiciones naturales, proviene de la atmósfera terrestre, principalmente a través dos procesos de fijación: i) por acción de las descargas eléctricas, el nitrógeno puede oxidarse y pasar a la forma de óxidos y estos compuestos, a su vez, trasladados al suelo por la lluvia; ii) fijación biológica (García & Navarro, 2003).

Fósforo

El fósforo se encuentra como mineral accesorio en gran cantidad de rocas, desde donde pasan al suelo a través de la meteorización. Asimismo, proviene de los fosfatos de calcio, que tienen origen orgánico, llamados fosforitas, los que se forman por descomposición del guano y de depósitos fósiles constituidos por restos óseos (Lanfranco et al., 2014).

En la planta, el fósforo se encuentra en todos los tejidos vegetales, en diferentes concentraciones. Absorbe el fósforo en forma de PO_4H_2^- , y en menor cantidad como PO_2H_4^- . Otras formas por las que el fósforo puede ser, posiblemente, absorbido por las plantas son: $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ y PO_3^- , así como ciertos fosfatos orgánicos solubles. En todos los suelos, la cantidad de fósforo asimilable es pequeña, y el aprovechamiento de las formas asimilables depende, principalmente, del pH del suelo (García & Navarro, 2003).

Potasio

En la planta, el contenido de potasio fluctúa ampliamente, dependiendo de la especie, del órgano que se considere y del contenido asimilable del suelo. En ella, cumple funciones variadas (actúa en la fotosíntesis); sin embargo, se desconoce ciertos aspectos de los mismos. La planta, absorbe el potasio en la forma K^+ . Es un elemento que está presente en altas concentraciones en las cenizas vegetales, bajo la forma de óxido potásico (García & Navarro, 2003).

El potasio en el suelo puede encontrarse en cuatro formas: “i) presente en la solución del suelo, ii) intercambiable, iii) difícilmente intercambiable y iv) formando parte de los minerales del suelo” (García & Navarro, 2003). Principalmente es de origen inorgánico, pues proviene del intemperismo de las rocas, por ello, en suelos orgánicos es posible encontrar el contenido más bajo de K (< 0.03%) (Borges, Escamilla, Soria, & Casanova, 2005).

Calcio

Es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas. Se encuentra en mayor concentración en las hojas y en los tallos (García & Navarro, 2003). Cantidades excesivas de calcio en el suelo restringe la disponibilidad de fósforo, boro

y hierro para las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Es absorbido principalmente bajo la forma de Ca^{+2} ; y en proporciones menores, es absorbido mediante un intercambio directo entre los pelos radiculares y el complejo coloidal al que se encuentra adsorbido (García & Navarro, 2003).

Magnesio

El magnesio forma parte de la clorofila de la planta. Se encuentra asociado a diversos aniones orgánicos como son: malato, nitrato, pectato y oxalato, en semillas, ramas, hojas y troncos. Desempeña diversas funciones en las plantas. Es absorbido del suelo bajo la forma de Mg^{2+} (García & Navarro, 2003).

Sodio

El sodio es considerado en las plantas como un estimulante y un parcial sustituto del potasio. Es absorbido bajo la forma de Na^{+} (García & Navarro, 2003).

El exceso de sodio intercambiable en el suelo conlleva a la alcalinización, o sodicidad del mismo. A medida que se incrementa la concentración de sodio intercambiable, otros cationes son reemplazados, ello confiere propiedades físicas inestables y químicas muy pobres, disminuyendo la percolación, infiltración del agua por el suelo; y por último, el crecimiento de las plantas. Los suelos sódicos se encuentran frecuentemente en zonas áridas y semiáridas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

pH

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones de hidrógeno (H^{+}) por las partículas del suelo, y determina la acidez o alcalinidad del suelo. Influye en la solubilidad, movilidad, disponibilidad de nutrientes y de otros

constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una expresión de la salinidad del suelo. (acumulación de sales solubles en agua en del suelo). Las sales son depositadas a través del ascenso capilar desde un nivel freático salino a la superficie del suelo, manejo de riego inapropiado, intrusión de agua marina, entre otros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos.

Textura del suelo

El suelo está constituido por diferentes tamaños de partícula. La mayor cantidad de clasificaciones aceptan la arena, limo y arcilla como constituyentes granulométricos que confieren la textura del suelo. De todas las escalas granulométricas, son la de Atterberg o Internacional (llamada así por haber sido aceptada por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) y la americana del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) las más ampliamente utilizadas (Universidad de Granada, 2019).

La fracción del suelo menor de 2 mm es la responsable de las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas de los suelos.

Materia orgánica

La materia orgánica es un conjunto de sustancias constituidas por restos vegetales y de otros organismos que están sometidos a un constante proceso de transformación y síntesis en el suelo. Está constituido por seres vivientes (microbiota,

mesobiota y macrobiota) y no vivientes (restos orgánicos frescos, productos excretados por los seres vivos, productos de descomposición y compuestos de síntesis) (Universidad de Granada, 2019).

La materia orgánica, en forma de humus desarrolla en el suelo múltiples funciones del tipo físico, químico y biológico. En la parte física, proporciona al suelo un color oscuro, regula rápidamente la temperatura por su bajo calor específico, favorece la aireación y el drenaje, confiere una gran capacidad de retención de agua y tiende a reducir la evapotranspiración, además de ser un agente preventivo de la erosión. Además, regula las principales propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, confiere mayor poder amortiguador, y presta soporte a múltiples microorganismos, entre otros factores (García & Navarro, 2003).

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico hace referencia al número de cargas positivas que incorporarán los cationes al suelo. Las arcillas y la materia orgánica son los principales componentes responsables de la capacidad de intercambio catiónico, pues en su superficie y dentro de la estructura interna de las partículas, se encuentran adsorbidos los cationes (Universidad de Granada, 2019). Se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, cmol (+) kg^{-1} (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Los cationes intercambiables son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} y proceden de diferentes procesos como la meteorización del material originario, de la mineralización de la materia orgánica, y de aportes externos superficiales y subterráneos (Lanfranco et al., 2014). El proceso de cambio catiónico pone a disposición de la planta los nutrientes, mediante su paso a la

disolución del suelo, actuando como un verdadero regulador (García & Navarro, 2003).

Análisis de varianza (ANOVA)

La varianza es un estimador de la dispersión de los datos que existe entre la característica de calidad medida y promedio. El análisis de varianza se realiza con el método ANOVA, el cual es el método más exacto para calcular la variabilidad de un sistema de medición. Permite cuantificar la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes. Se basa en la técnica estadística que permite analizar los diferentes factores en el diseño de experimentos (Botero, Arbeláez, & Mendoza, 2007).

El método ANOVA de un factor se aplica para análisis donde, además del error aleatorio inevitable en las mediciones, hay un factor controlado (Ej. temperatura) o aleatorio (Ej. toma de muestra al azar). El ANOVA es una generalización de la "prueba t de student" (Gómez, Vivó, & Soria, 2001)

Tukey

Tukey es una prueba de significación estadística que sirve para comparar variables entre distintas muestras. Es una alternativa no paramétrica de la prueba F que permite comparar la dispersión de dos conjuntos de resultados (Gómez et al., 2001).

Es utilizado en el análisis de varianza, para “crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado” (Minitab, 2019).

Definición de términos de la investigación

Capacidad de intercambio de cationes (CIC). Es la medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas), y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH_4 , etc.) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Materia orgánica del suelo. Constituida por material orgánico vivo o muerto. La materia orgánica viva lo conforma las raíces de las plantas, bacterias, lombrices de tierra, algas, hongos, entre otros. La materia orgánica muerta está conformada por los restos muertos o en descomposición como ser hojarascas, estiércol, entre otros (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

pH (potencial de hidrógeno). Determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo es ácido o alcalino (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Porcentaje de saturación de bases. Conformada por la fracción de cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) que ocupan posiciones en los coloides del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Salinidad del suelo. Acumulación de sales solubles en agua del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

Textura del suelo. Proporción de partículas minerales (proporción de arena, limo y arcilla) de diferente tamaño que conforman el suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

En la presente investigación se considera como:

Incendio Forestal. “Fuego que se extiende de manera descontrolada y que afecta y degrada los bosques naturales, las plantaciones forestales, la cobertura vegetal y cultivos agrícolas; y además a la fauna silvestre y animales domésticos” (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2015).

Suelo. Sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, capa superior de la corteza terrestre, formada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019a).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar la influencia del fuego en la disponibilidad de nutrientes en el suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.

Evaluar la influencia del fuego en el pH y conductividad eléctrica del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.

Evaluar la influencia del fuego en la textura y color del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El fuego ha causado cambios en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca, alterando el ciclo de los nutrientes e incrementando la capacidad de intercambio catiónico.

1.4.2. Hipótesis específicas

La disponibilidad de nutrientes ha sido modificada por el fuego, encontrándose un incremento en la concentración de algunos nutrientes en suelos afectados por el fuego en el Cañón de Sangal, Cajamarca.

El pH y conductividad eléctrica en suelos afectados por el fuego en el Cañón de Sangal, Cajamarca no han sido alterados significativamente.

El fuego no ha tenido influencia significativa en la textura, pero si en el color del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo explicativa, pues el objetivo central es analizar la influencia del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal. La investigación analizó datos cuantitativos y cualitativos.

Se instalaron parcelas de 40 m² como un diseño completamente al azar. Se consideró criterios de presencia o ausencia de fuego en el suelo del área de estudio (con incendio/sin incendio) y dos profundidades de muestreo 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Cada condición tuvo 3 repeticiones dentro de la zona incendiada y los testigos 3 repeticiones.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

Materiales e instrumentos

En la investigación se utilizó los siguientes materiales e instrumentos:

- picota,
- barreno,
- palas,
- bolsas ziploc,
- wincha de 5 m,
- wincha de 50 m,
- rotuladores,
- libreta de apuntes,
- tabla Munsell,
- GPS,

- cámara fotográfica,
- computadora y,
- equipos de laboratorio.

Métodos

Se utilizó el método deductivo e inductivo en la investigación, los que permiten establecer enlaces de juicios, valorando las consecuencias.

Para el análisis de cada indicador se utilizó los métodos siguientes:

- pH (1:1): método potenciométrico de la suspensión suelo: agua relación 1:1.
- Conductividad eléctrica (CE): medida de la conductividad eléctrica del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1.
- Calcáreo total (CaCO_3): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
- Fósforo disponible (P): método del Olsen modificado, extracción con NaHCO_3 , 0.5M; pH = 8.5.
- Potasio disponible (K): extracción con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$)N; pH 7.0.
- Nitrógeno total (% N): método del micro-Kjeldahl.
- Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COOCH}_4$)N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.
- $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$: método de Yuan. Extracción con KCl, N.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COOCH}_4$)N; pH 7.0.
- Textura: método del hidrómetro.
- Color: método de comparación con la tabla Munsell.

— Materia orgánica (% MO): método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. % M.O. = % Cx1.124.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La recolección de datos se realizó en seis parcelas de 40 m², tres parcelas en el área quemada y tres parcelas en el área no quemadas, parcelas seleccionadas al azar en áreas homogéneas considerando tipo de suelo, intensidad del fuego, pendiente y exposición a la radiación.

Las profundidades de muestreo fueron 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Las muestras fueron tomadas a 3 meses luego de acaecido el incendio en el área evaluada.

Se tomaron muestras de 500 gramos de suelos para evaluar las propiedades del suelo. El porcentaje de materia orgánica (% M.O.), textura y color del suelo se evaluaron como propiedades físicas. El pH (1:1), conductividad eléctrica (CE), calcáreo total (CaCO₃), fósforo disponible (P), potasio disponible (K), porcentaje de nitrógeno total (% N), cationes cambiabiles (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺ + H⁺) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) como propiedades químicas.

El suelo se evaluó en profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm del suelo en las seis parcelas de evaluación. Cada muestra de suelo estuvo compuesta por cinco submuestras tomadas en el interior de cada parcela de 40 m².

Los análisis de las propiedades químicas del suelo se realizaron en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina. El color del suelo se determinó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Los datos obtenidos en los análisis de laboratorio se procesaron en el programa estadístico SAS® (inicialmente significaba "*Statistical Analysis System*", actualmente es el nombre del programa), con las herramientas de análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey entre condiciones con una probabilidad del 95 %. Asimismo, se utilizará el programa Excel.

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en la investigación se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Matriz de técnicas e instrumentos de la investigación.

Objetivo específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica	
Evaluar la influencia del fuego en la disponibilidad de nutrientes en el suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	calcáreo total (CaCO ₃)	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM	
	fósforo disponible (P)	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM	
	potasio disponible (K)	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM	
	nitrógeno total (% N)	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM	
	Ca ²⁺ cambiante	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM	

Objetivo específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente
				bibliográfica de la técnica
	Mg ²⁺ cambiable	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
	K ⁺ cambiable	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
	Na ⁺ cambiable	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
	Al ³⁺ + H ⁺ cambiable	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
	capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
Evaluar influencia del fuego en el pH y conductividad eléctrica del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	la pH	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
	Conductividad eléctrica	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM
Evaluar influencia del fuego	la textura	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	UNALM

Objetivo específico	Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente bibliográfica de la técnica
en la textura y color del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	color	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	de UNC
	% materia orgánica	Análisis de Laboratorio	Reporte de Laboratorio	de UNALM

2.4. Procedimiento

Se instalaron parcelas de 40 m² (Anexo 9), con un diseño completamente al azar. Se consideraron criterios de presencia o ausencia de fuego en el suelo del área de estudio (con incendio/sin incendio) y dos profundidades de muestreo 0 a 10 cm y 10 a 20 cm. Se tomaron tres repeticiones en áreas quemadas y 3 repeticiones en áreas sin quemar. Cada parcela de evaluación fue georeferenciada (localización geográfica), en el sistema de coordenadas UTM y Datum WGS84.

La distribución de los tratamiento o condiciones de estudio se distribuyeron de la siguiente forma:

- T1 Parcela de 40 m² no quemada a una profundidad de 0 - 10 cm.
- T2 Parcela de 40 m² no quemada a una profundidad de 10 - 20 cm.
- T3 Parcela de 40 m² parcialmente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm.
- T4 Parcela de 40 m² parcialmente quemada a una profundidad de 10 - 20 cm.
- T5 Parcela de 40 m² completamente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm.
- T6 Parcela de 40 m² completamente quemada a una profundidad de 10 - 20 cm.

Las características de cada tipo de parcela fueron:

- Sin quemar: la vegetación no fue afectada por fuego (Ver Anexo 8).
- Parcialmente quemado: donde la vegetación fue afectada por el fuego, pero la baja intensidad del evento permitió la supervivencia de individuos arbóreos (vegetación de tallo leñoso que se ramifica desde una cierta altura, y tiene como mínimo 2.5 m). Asimismo, se observó la carbonización de la corteza de los árboles vivos (individuos que presenta follaje verde o rebrotes) y parte del suelo mineral quedó expuesto.
- Completamente quemado: la vegetación fue afectada por el fuego de tal manera que no hubo supervivencia de individuos arbóreos. Asimismo, se ha observado el consumo del follaje o parte de él y cambios de color en algunos sectores del suelo, acumulación de cenizas de color blanco (Ver Anexo 7).

En cada condición de estudio se formó una muestra compuesta por cinco submuestras. Las muestras de suelo se codificaron y embalaron en bolsas herméticas y se analizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina y el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Las muestras de suelo incluyeron cenizas generadas por el incendio.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción del área de estudio

Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicado en el Cañón del Sangal (también denominado Cañón del río Chonta), en la cuenca del río Chonta, en el Distrito de Baños del Inca, Provincia de Cajamarca, a 40 minutos de la ciudad de Cajamarca. El acceso al área es a través de la carretera Otuzco – Combayo.

En la proyección UTM-WGS-84, el punto central del área muestreada se encuentra ubicado en la coordenada Este 787 100 y coordenada Norte 9 215 631, a una altitud promedio de 2840 m.s.n.m. En el Anexo 10 se muestra la ubicación del área en estudio.

Características climáticas

La zona evaluada, considerando el régimen y distribución pluviométrica, presenta dos estaciones marcadas, estación seca (de mayo hasta setiembre) y estación húmeda (de octubre hasta abril). La precipitación anual promedio es de 600 mm en la parte baja de la cuenca del río Chonta, en áreas circundantes a la ciudad de Cajamarca a 2700 m.s.n.m.; características semejantes al área en estudio por su proximidad y altitud sobre el nivel del mar.

Biodiversidad

El área estudiada alberga vegetación tipo matorral, pastos, y bosques de porte bajo. Las muestras fueron tomadas en el área boscosa en la que se encuentran, en mayor abundancia, “babilla” (*Delostoma integrifolium*), “ada” (*Tecoma sambucifolia*), “chilca” (*Baccharis sp.*), entre otras especies.

Se considera un área de alta importancia ecológica, pues alberga diversas especies de fauna. Se ha registrado 90 especies de aves, entre las cuales 4 especies endémicas del Perú, el Tijeral de Corona Castaña (*Leptasthenura pileata*), la Bandurrita Peruana (*Geocerthia serrana*), el Colibrí Negro (*Metallura phoebe*) y el Cometa de Vientre Gris (*Taphrolesbia griseiventris*). (Roncal, 2018). Así mismo, se puede encontrar diversidad de especies de fauna, sin embargo, no se ha encontrado reportes oficiales.

Incendio forestal

El ocho de setiembre de 2018 se produjo un incendio de grandes proporciones que afectó al suelo y biodiversidad de ladera y cárcavas, dejando el suelo desnudo y susceptible a la erosión. Las áreas afectadas incluyeron bosques, matorrales, y pastos naturales. Tres meses luego del incendio aún se pudo apreciar acumulación de ceniza en el suelo y vegetación carbonizada.

3.2. Resultados de laboratorio

Los resultados de las muestras de suelos enviados al Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, fueron analizados para observar su variación causado por el incendio forestal.

Analizando los resultados obtenidos en el laboratorio, se ha creído por conveniente trabajar estadísticamente los datos por separado, considerando áreas sin quemar, parcialmente quemadas y completamente quemadas. La decisión se tomó por la variabilidad en los resultados de una parcela quemada y las dos parcelas quemadas restantes.

En las Tablas 2, 3, 4 y 5 se presentan valores promedios del reporte de laboratorio, correspondiente a los análisis de muestras tomadas en profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los datos de la columna sin quemar corresponden a 3 repeticiones; los de la columna parcialmente quemada, a 2 repeticiones; y los de la columna completamente quemada, a 1 repetición.

3.2.1. Resultados de análisis de suelo de 0 -10 cm de profundidad

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo obtenidas en los 10 cm superiores. Se discuten los datos en el siguiente capítulo.

Tabla 2

Resultados de análisis de suelo de 0 -10 cm de profundidad.

Característica	Unidad	Sin	Parcialmente	Completamente
		quemar	quemada	quemada
pH (1:1)	Unidad	7.66	7.39	7.49
C.E. (1:1)	dS/m	0.36	0.55	1.40
CaCO ₃	%	32.43	27.70	41.50
M.O.	%	9.63	17.18	16.96
N	%	0.38	0.68	0.54
P	ppm	4.50	5.00	6.20
K	ppm	594.67	629.00	890.00
Arena	%	42.33	52.00	45.00
Limo	%	31.00	27.00	33.00

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

Característica	Unidad	Sin	Parcialmente	Completamente
		quemar	quemada	quemada
Arcilla	%	26.67	21.00	22.00
Clase textural	---	FrAr	FrArA	Fr.
CIC		32.37	43.68	36.48
Ca ²⁺		29.35	40.14	30.38
Mg ²⁺		1.63	2.12	4.23
K ⁺	meq/100g	1.34	1.35	1.79
Na ⁺		0.06	0.08	0.08
Al ³⁺ + H ⁺		0.00	0.00	0.00
Suma de cationes		32.37	43.68	36.48
Suma de bases		32.37	43.68	36.48
Saturación de bases	%	100.00	100.00	100.00

3.2.2. Resultados de análisis de suelo de 10 - 20 cm de profundidad

Tabla 3

Resultados de análisis de suelo de 10 - 20 cm de profundidad.

Característica	Unidad	Sin	Parcialmente	Completamente
		quemar	quemada	quemada
pH (1:1)	Unidad	7.64	7.52	7.75
C.E. (1:1)	dS/m	0.35	0.46	0.52
CaCO ₃	%	35.30	36.30	51.50
M.O.	%	6.94	12.13	4.14

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

Característica	Unidad	Sin	Parcialmente	Completamente
		quemar	quemada	quemada
N	%	0.32	0.50	0.13
P	ppm	3.90	4.25	3.90
K	ppm	409.67	422.00	768.00
Arena	%	36.33	51.00	43.00
Limo	%	30.33	26.00	31.00
Arcilla	%	33.33	23.00	26.00
Clase textural	---	FrAr	FrArA	Fr.
CIC		29.07	41.12	20.32
Ca ²⁺		26.96	38.58	16.63
Mg ²⁺		1.01	1.43	1.72
K ⁺	meq/100g	0.98	1.02	1.92
Na ⁺		0.11	0.09	0.05
Al ³⁺ + H ⁺		0.00	0.00	0.00
Suma de cationes		29.07	41.12	20.32
Suma de bases		29.07	41.12	20.32
Saturación de bases	%	100.00	100.00	100.00

En la Tabla 3 se presentan los valores promedios de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo obtenidas entre los 10 – 20 cm de profundidad. Se discuten los datos en el siguiente capítulo.

3.2.3. Resultados del análisis de color del suelo de 0 - 10 cm de profundidad

Los resultados corresponden a la evaluación de la muestra de suelo mediante la utilización de la Tabla Munsell.

En la Tabla 4 se presenta los valores promedios del análisis de color del suelo de las muestras de suelo obtenidas en los 10 cm superiores. Los valores son los que están estipulados en la tabla Munsell.

Tabla 4

Resultados de análisis de color de suelo de 0 - 10 cm de profundidad.

Característica	Sin quemar	Parcialmente quemada	Completamente quemada
<i>Hue</i>	10YR	10YR	10YR
<i>Value</i>	3	2	2
<i>Chroma</i>	1	1	2
Color	<i>very dark gray</i>	<i>black</i>	<i>very dark brown</i>

Fuente: Elaborado en base al Reporte del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2.4. Resultados del análisis de color del suelo de 10 - 20 cm de profundidad

Los resultados corresponden a la evaluación de la muestra de suelo seco mediante la utilización de la Tabla Munsell.

En la Tabla 5 se presenta los valores promedios del análisis de color del suelo de las muestras de suelo obtenidas entre los 10 y 20 cm de profundidad. Los valores son los que están estipulados en la Tabla Munsell.

Tabla 5

Resultados de análisis de color de suelo de 10 - 20 cm de profundidad.

Característica	Sin quemar	Parcialmente	Completamente
		quemada	quemada
<i>Hue</i>	10YR	10YR	10YR
<i>Value</i>	2	2	3
<i>Chroma</i>	2	1	2
Color	<i>very dark brown</i>	<i>black</i>	<i>very dark grayish brown</i>

Fuente: Elaborado en base al Reporte del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2.5. Análisis estadísticos de los resultados

Tabla 6

Resultados del análisis de varianza ANOVA y prueba de Tukey.

Característica	Unidad	Completamente quemada						F calculada	F		
		Sin quemar		Parcialmente quemada		quemada			tabular	0.05	0.01
		T1	T2	T3	T4	T5	T6				
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm				
pH (1:1)	Unidad	7.66 a	7.64 a	7.42 a	7.59 a	7.49 a	7.75 a	1.80 NS	3.11	5.06	
C.E. (1:1)	dS/m	0.36 b	0.35 b	0.83 a b	0.48 b	1.40 a	0.52 b	10.99 **	3.11	5.07	
CaCO ₃	%	32.43 a	35.30 a	24.40 a	32.03 a	41.50 a	51.50 a	1.18 NS	3.11	5.08	
M.O.	%	9.63 b	6.94 b	17.11 a	9.47 b	16.96 a	4.14 b	13.00 **	3.11	5.09	
N	%	0.38 a b	0.32 a b	0.63 a	0.37 a b	0.54 a	0.13 b	6.50 **	3.11	5.10	
P	ppm	4.50 a	3.90 a	11.33 a	4.13 a	6.20 a	3.90 a	1.53 NS	3.11	5.11	
K	ppm	594.70 a b	409.70 b	716.00 a b	537.30 a b	890.00 a	768.00 a b	4.30 *	3.11	5.12	

Característica	Unidad	Sin quemar		Parcialmente quemada		Completamente quemada		F	F		
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	calculada	tabular		
		0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm		0.05 0.01		
Análisis	Arena	%	42.33 a	36.33 a	49.67 a	48.33 a	45.00 a	43.00 a	2.65 NS	3.11	5.13
	Limo	%	31.00 a	30.33 a	29.00 a	27.67 a	33.00 a	31.00 a	2.12 NS	3.11	5.14
Mecánico	Arcilla	%	26.67 a	33.33 a	21.33 a	24.00 a	22.00 a	26.00 a	2.34 NS	3.11	5.15
Clase textural	---		FrAr	FrAr	FrArA	FrArA	Fr.	Fr.	-	-	
CIC			32.37 a b	29.07 a b	41.28 a	34.19 a b	36.48 a b	20.32 a	3.73 *	3.11	5.17
	Ca ²⁺		29.35 a	26.96 a	36.89 a	31.26 a	30.38 a	16.63 a	2.37 NS	3.11	5.18
Cationes	Mg ²⁺	meq/100g	1.63 b c	1.01 c	2.82 a b	1.53 b c	4.23 a	1.72 b c	13.14 **	3.11	5.19
Cambiables	K ⁺		1.34 a	0.98 a	1.50 a	1.32 a	1.79 a	1.92 a	3.04 NS	3.11	5.20
	Na ⁺		0.05 a	0.11 a	0.08 a	0.08 a	0.08 a	0.05 a	2.56 NS	3.11	5.21

Donde:

*: significación estadística.

** : alta significación estadística.

NS: no existe significación estadística

Según Tukey, promedios con la misma letra en cada fila son estadísticamente iguales.

En la Tabla 6 se presenta resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA y prueba de Tukey de los parámetros físicos y químicos de las muestras de suelos evaluadas.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

4.1.1 Nutrientes del suelo

Calcáreo total (% CaCO₃)

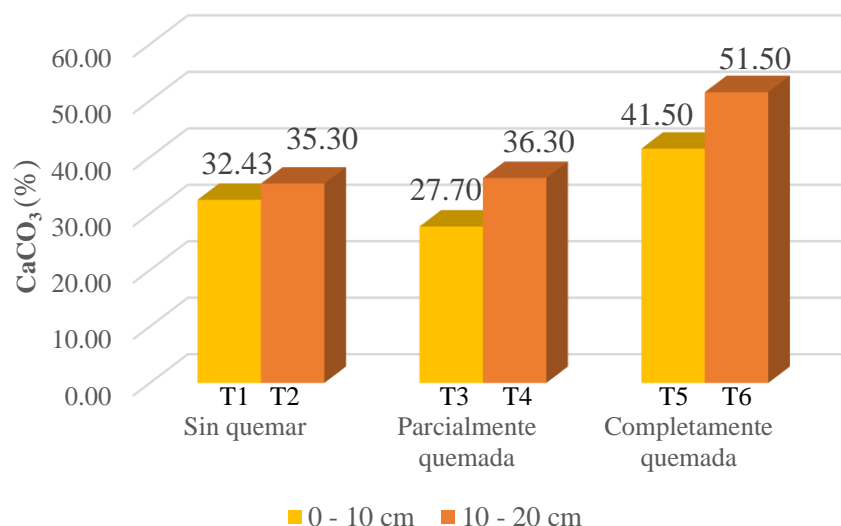


Figura 1. CaCO₃ (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

El contenido de carbonato de calcio es superior a 15 % en todas las parcelas (Figura 1), lo que indica que el suelo pertenece al grupo de referencia (WRB) calcisoles, considerando el criterio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2019).

La concentración de calcáreo total (%) tiene un comportamiento similar en todas las parcelas evaluadas, registrando un incremento en la concentración a mayor profundidad del suelo.

En los 10 centímetros superiores del suelo de las parcelas parcialmente quemadas, se ha registrado una ligera disminución, no significativa, del porcentaje

de calcáreo total, incrementando la concentración en 9.1 % en la parcela totalmente quemada, con relación al suelo no afectado por el fuego.

En profundidades de 10 - 20 cm, el contenido de calcáreo se ha incrementado de manera progresiva, pasando de 35.3 % en las parcelas no quemadas a 36.3 % y 51.5 % en las parcelas parcialmente y completamente quemadas, respectivamente.

La prueba de Tukey muestra que todos los tratamientos en estudio presentan promedios iguales estadísticamente.

La menor concentración de calcáreo total en los 10 cm superiores, posiblemente se deba a que, luego del incendio, el agua ha lixiviado los carbonatos de la superficie, al interior del suelo.

Fósforo disponible (P ppm)

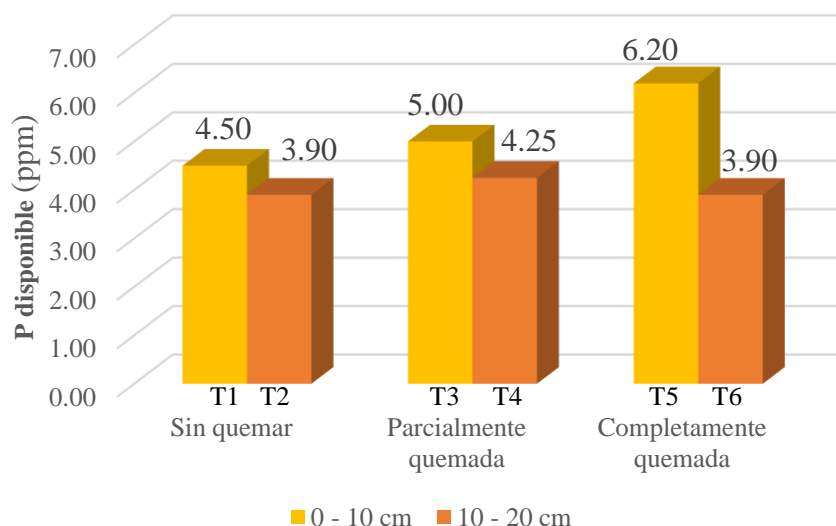


Figura 2. Fósforo disponible (ppm) del suelo de las parcelas estudiadas.

El contenido de fósforo disponible (ppm) en todas las parcelas evaluadas es bajo (< 7 ppm), registrando una concentración decreciente a mayor profundidad (Figura 2).

En los 10 cm superiores del suelo, la disponibilidad de fósforo aumenta en relación directa a la intensidad del fuego. Tal es así que, entre la parcela no quemada y la completamente quemada, existe un incremento 1.7 ppm. Similar comportamiento, en la concentración de fósforo después de un incendio, se ha registrado en la capa superficial del suelo (0 - 5 cm) en boques quemados de Pino en México (Capulín et al., 2010), en matorrales quemados en España (Afif & Oliveira, 2006), en pinares en Cuba (Valdes et al., 2016), en pastizales en Huancayo (Cáceres, 2018), entre otros.

La diferencia de concentración de fósforo disponible en el suelo a una profundidad de 10 – 20 cm es menor, ello puede deberse a que el fuego afectó en menor medida al suelo en esa profundidad. Asimismo, la concentración de materia orgánica, es menor a medida que se profundiza en el suelo.

Observamos que no existe diferencias significativas entre los promedios de los 6 tratamientos. Haciendo este análisis y la prueba de Tukey podemos decir que el paso del incendio no afectó en las concentraciones del fósforo.

La concentración de fósforo disponible en el suelo aumenta debido a la acumulación de ceniza (Cáceres, 2018) generadas en la combustión de la vegetación. (Giovanni (1997) citados por Úbeda, 2001) indica que al superar los 460 °C de temperatura, la concentración de fósforo aumenta notablemente. Amiotti, Bravo, Giorgetti, Montenegro, & Rodriguez (2005) registraron un mayor incremento en el contenido de fósforo extraíble a temperaturas de 200 °C y 300 °C, lo que atribuyó al cambio del fósforo orgánico a fósforo disponible; asimismo, registró una ligera disminución por encima de los 400 °C de temperatura, probablemente debido a su inmovilización temporal por la formación de fosfatos de calcio y/o magnesio.

No obstante, algunos autores indican que el aumento de fósforo en el suelo, luego de un incendio, es efímero (Afif & Oliveira, 2006; Capulín et al., 2010; Hedo, 2015), pues la concentración de fósforo disponible depende de la mineralización de este elemento, que a su vez depende de la actividad y biomasa microbiana ubicada especialmente en la rizosfera (Gutiérrez & Rincón, 2012), biomasa que disminuye luego de un incendio.

Potasio disponible (K ppm)

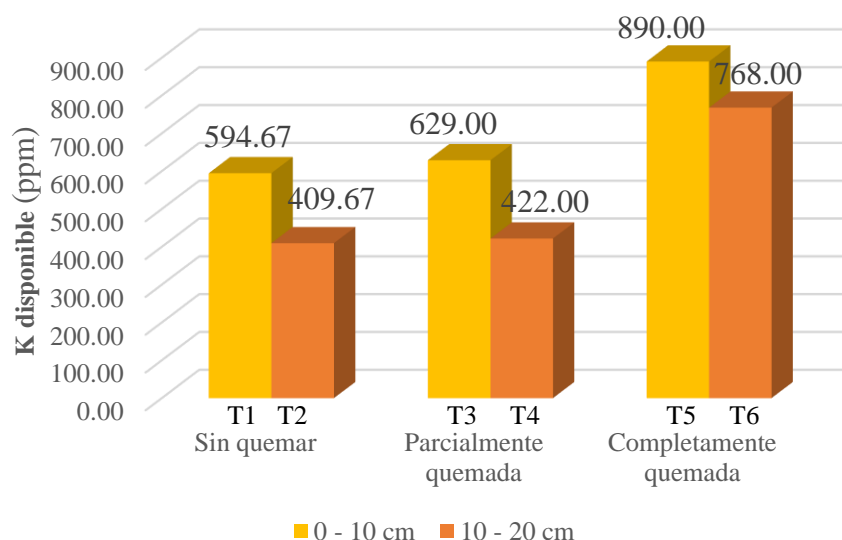


Figura 3. Potasio disponible (ppm) del suelo de las parcelas estudiadas.

La concentración de potasio disponible (ppm) en el suelo de todas las parcelas es alta (> 240 ppm), disminuyendo la concentración conforme aumenta la profundidad (Figura 3).

Con relación a la influencia del fuego en la concentración del potasio disponible, en los primeros 10 cm del suelo se ha registrado un aumento de 34 ppm (5 %) en la parcela parcialmente quemada, y 295 ppm (40 %) en la parcela completamente quemada, con respecto a la parcela sin quemar. Estadísticamente

existe diferencia significativa en los promedios de las concentraciones de potasio; es decir, el incendio favoreció el incremento de potasio en las parcelas parcialmente quemadas y completamente quemada.

Este comportamiento se debe posiblemente al aumento de la ceniza proveniente de la quema de la vegetación que aportó este elemento al suelo. El aumento significativo en la concentración de potasio en el suelo es generalizado en los suelos quemados. Diversos autores obtuvieron resultados similares (Afif & Oliveira, 2006; Cáceres, 2018; Úbeda, 2001; Valdes et al., 2016).

El aumento en la concentración de potasio se atribuye principalmente a la incorporación de ceniza al suelo (Valdes et al., 2016), aunque Dimitrakopoulos et al. (1994), citados por (Úbeda, 2001) señalan que si la temperatura alcanza los 500 °C, hay volatilización.

Nitrógeno total (% N)

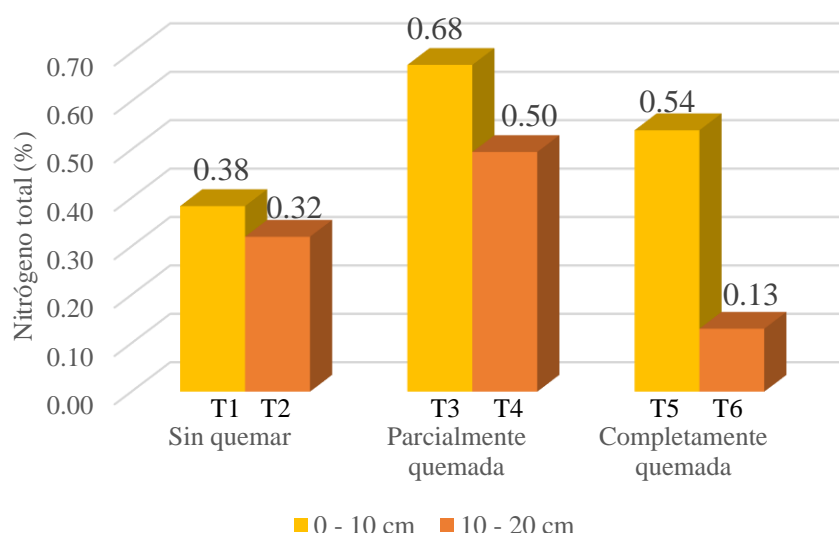


Figura 4. Nitrógeno total (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

El contenido de nitrógeno (%) del suelo está relacionado con el contenido de materia orgánica. A mayor profundidad en el suelo, el contenido de materia orgánica disminuye, y con ello, el porcentaje de nitrógeno (Figura 4).

El porcentaje de nitrógeno total, entre los 0 a 10 cm de profundidad, ha incrementado en 0.29 en las parcelas parcialmente quemadas y 0.16 en la parcela completamente quemada, tomando como referencia la parcela sin quemar; es decir, se ha registrado un mayor aumento del porcentaje de nitrógeno en áreas parcialmente quemadas. Estadísticamente, existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos 3 y 5 (correspondiente a los 10 cm superiores de las parcelas parcialmente y completamente quemadas) y los demás tratamientos.

Inmediatamente y hasta los 7 días luego de un incendio, en los primeros dos y cinco centímetros de profundidad, Afif & Oliveira, (2006) registraron un aumento de la concentración del nitrógeno. Asimismo, indican que este aumento podría estar relacionado con la ligera tendencia al incremento de materia orgánica en las áreas quemadas.

No obstante, diversos autores reportan una disminución significativa del contenido de nitrógeno inmediatamente después de un incendio forestal (Capulín et al., 2010; La Manna & Barroetaveña, 2011; Urretavizcaya, 2010). Giovanni (1997) citado por Úbeda (2001) registró un descenso superior de nitrógeno en la zona más intensamente quemada. Urretavizcaya (2010) indica que existe controversia en cuando a la cantidad de nitrógeno en el suelo luego de un incendio, pues se han reportado trabajos de incremento, disminución y de no modificación de la concentración.

Calcio cambiabile (Ca^{2+})

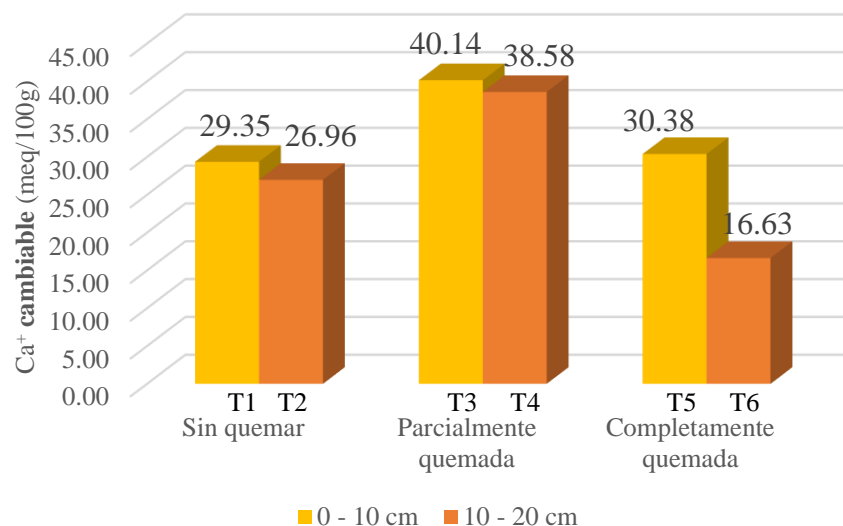


Figura 5. Ca^{2+} cambiabile (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.

En las parcelas parcialmente quemadas, en promedio se ha incrementado 10.7 meq/100g de calcio cambiabile en el suelo, disminuyendo nuevamente en la parcela completamente quemada (Figura 5). Estadísticamente no existe diferencia significativa en el contenido de calcio cambiabile entre los tratamientos.

Inmediatamente después de la quema, diversos autores, registraron un leve aumento no significativo en el contenido de calcio en el suelo (Afif & Oliveira, 2006; Cáceres, 2018). Úbeda (2001) menciona que el contenido de calcio asimilable en el suelo disminuye notablemente sólo en la zona de menor intensidad del fuego, por el contrario, aumenta en la zona de media intensidad. Indica también que, en zonas de alta intensidad, la variación es menos acusada.

Magnesio cambiabile (Mg^{2+})

En todas las parcelas, el contenido de magnesio cambiabile (meq/100g) disminuye con relación al aumento de la profundidad del suelo (Figura 6).

Considerando las relaciones catiónicas Ca/Mg, y K/Mg, se puede decir que la concentración de magnesio en el suelo es deficiente, pues alcanza valores >10 y >0.5 , respectivamente.

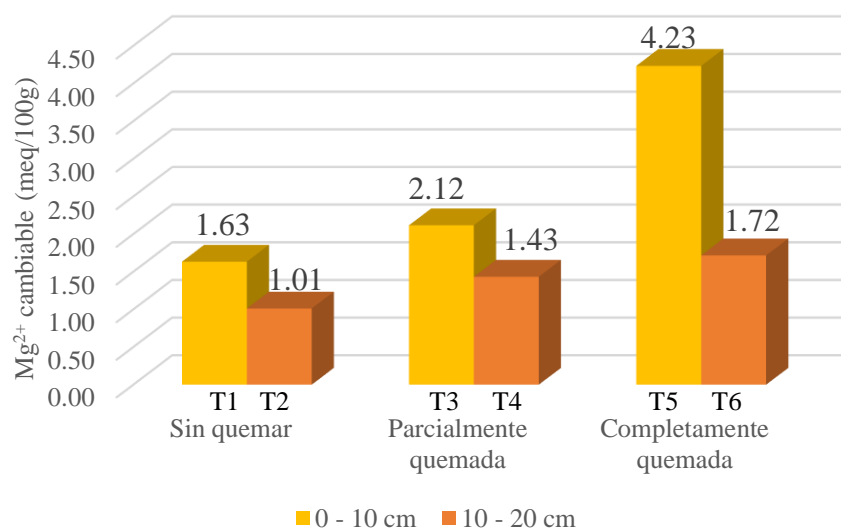


Figura 6. Mg²⁺ cambiante (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas

Con relación al efecto del fuego en el contenido de magnesio cambiante, en todas las parcelas, la concentración se incrementa a mayor intensidad del fuego. Existe alta significación estadística el contenido de magnesio cambiante entre los tratamientos, registrando una diferencia mayor el tratamiento 5 (10 cm superiores del suelo completamente quemado).

Giovannini (1997), citado por Úbeda (2001) indica que la concentración de calcio y magnesio aumenta desde los 170 °C hasta los 500 °C y la concentración desciende a partir de esa temperatura. Knoepp et al. 2005, citados por Urretavizcaya (2010) indican que en general, la disponibilidad del magnesio aumenta inmediatamente luego de un incendio, sin embargo, a menos de tres meses ese incremento puede desaparecer. Thiffault et al. 2008, citados por el mismo autor,

indican que el magnesio y el calcio al liberarse en la combustión de la materia orgánica, quedan como óxidos solubles fácilmente arrastrados por el viento y el agua, pero luego son rápidamente convertidos a carbonatos menos solubles.

Potasio cambiante (K^+)

El potasio cambiante en el suelo de las diferentes parcelas y profundidades presenta un incremento a medida que la intensidad del fuego aumenta. Posiblemente se deba al incremento de la ceniza producto de la combustión que a la vez es fuente de potasio para el suelo (Figura 7). Sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

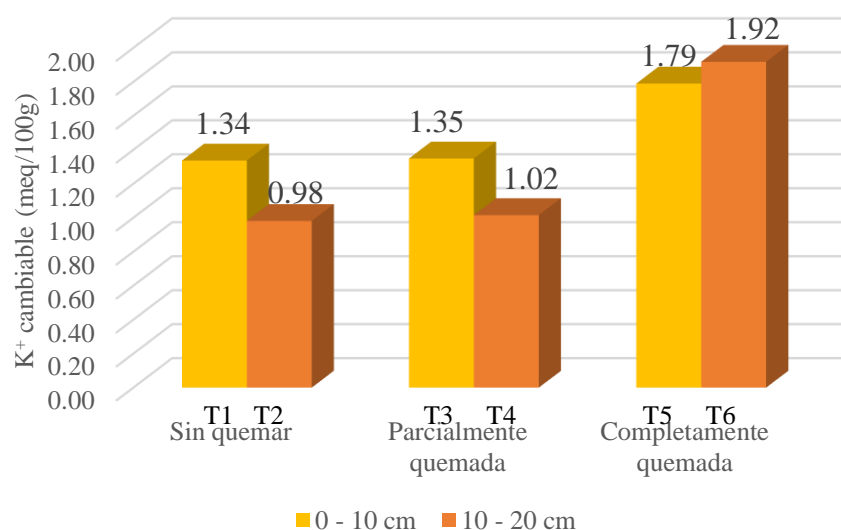


Figura 7. K^+ cambiante (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.

Sodio cambiante (Na^+)

En los 10 primeros centímetros del suelo, el contenido de sodio se ha incrementado pasando de 0.06 (meq/100g) en la parcela no quemada a 0.08 (meq/100g) en las parcelas parcialmente y completamente quemada (Figura 8). Sin

embargo, los análisis estadísticos indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

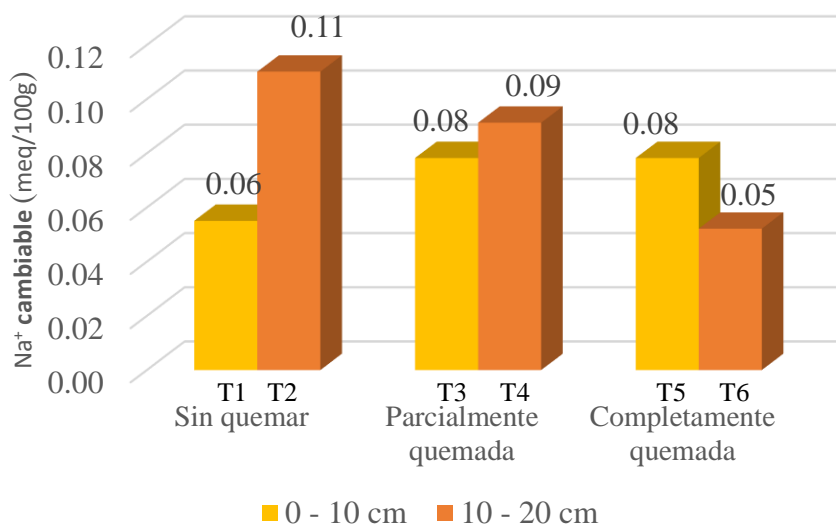


Figura 8. Na⁺ cambiante (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.

La Manna & Barroetaveña (2011) registraron en los primeros centímetros del suelo (0 - 5 cm) aumentos significativos en la concentración de sodio; por el contrario, Afif & Oliveira (2006) no registraron cambios significativos en la concentración de sodio.

Aluminio e hidrógeno cambiante (Al³⁺ + H⁺)

La acidez cambiante del suelo lo constituye la suma de H⁺ más el Al⁺⁺⁺ cambiante. Dado que el pH del suelo en todas las parcelas evaluadas es ligeramente alcalino, no existe disponibilidad de estos elementos, por tanto, es cero (0) su valor.

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo guarda estrecha relación con el contenido de arcilla y materia orgánica. En efecto, estos componentes tienen el mismo comportamiento luego del incendio. Se aprecia que, a intensidad

media del fuego, la CIC se ha incrementado y desciende en el suelo afectado fuertemente por el fuego (Figura 9).

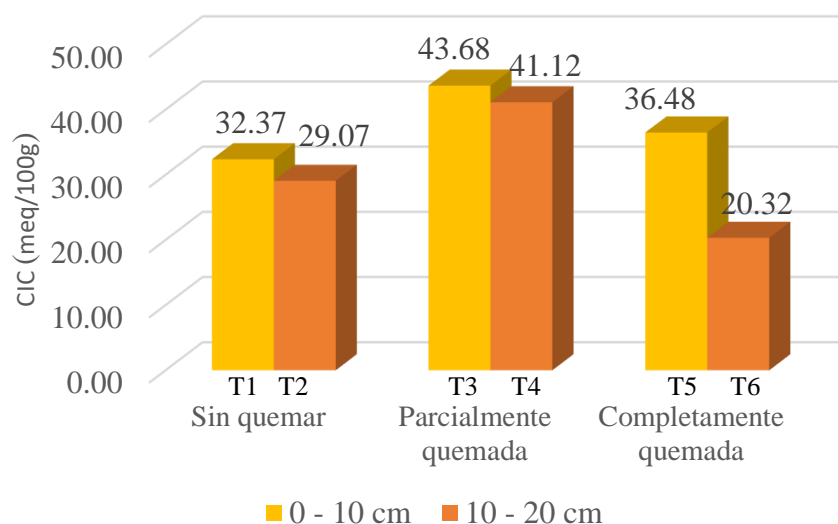


Figura 9. CIC (meq/100g) del suelo de las parcelas estudiadas.

La CIC del suelo presenta una diferencia significativa entre los tratamientos. La mayor CIC se muestra en el tratamiento 3 (parcialmente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm).

En investigaciones realizadas se han registrado ligeros incrementos (Cáceres, 2018), e incrementos significativos (La Manna & Barroetaveña, 2011) de la CIC en suelos quemados. Sin embargo, Celis, Jordán, & Martínez (2013) indican que después de un incendio forestal, generalmente se registra una disminución en la CIC, principalmente en los primeros centímetros del suelo. Al reducir la CIC en el suelo, los nutrientes que están contenidos en las cenizas, pueden lixiviarse con facilidad (Gil et al., 2010).

La CIC, en los incendios forestales, puede verse afectado por la destrucción de los compuestos húmicos y las arcillas de la superficie del suelo (Gil et al., 2010).

Suma de bases

La cantidad de bases cambiables del suelo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). En las parcelas parcialmente y totalmente quemadas, se ha incrementado con respecto a la parcela sin quemar. Sin embargo, en la parcela totalmente quemada, solo en la superficie se aprecia un incremento, mas no a partir de los 10 cm de profundidad (Figura 10).

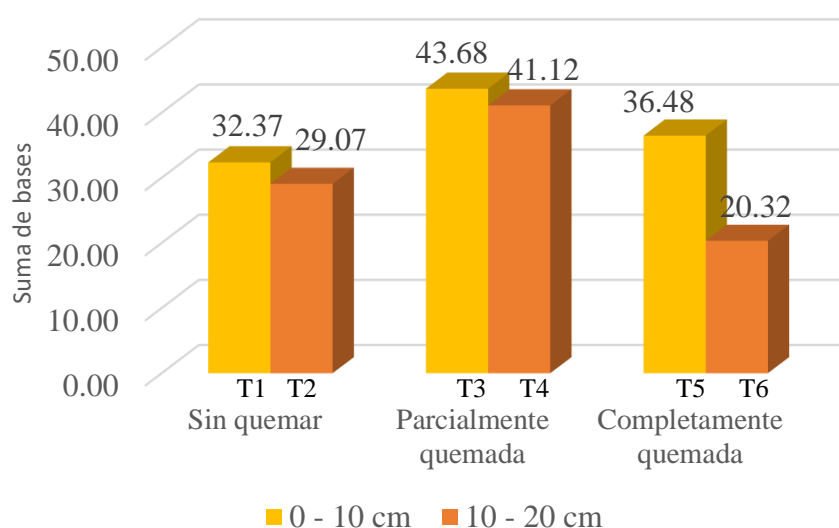


Figura 10. Suma de bases del suelo de las parcelas estudiadas.

Porcentaje de saturación de bases

El porcentaje de saturación de bases, viene a ser la proporción de la CIC que está compuesta por las bases del suelo. Como la acidez de los suelos es cero, entonces toda la CIC está saturado (100 %) por las bases o cationes básicos cambiables del suelo. Estos valores son altos, ya que sobrepasan el 80 %.

Hatten et al. (2005) citados por Pascual (2011) indican que los cambios en la saturación de bases son mayores cuando las bases son lixiviadas del suelo. Considerando ello, el área evaluada, no ha sufrido muchos cambios en la saturación

de bases por corto tiempo entre el incendio y la toma de muestras y las escasas precipitaciones.

4.1.2 pH y conductividad eléctrica

pH

El pH del suelo, en todas las parcelas, es ligeramente alcalino (Figura 11), pues se encuentra en el rango de 7.1 – 7.8.

En los 10 centímetros superiores del suelo, en la parcela parcialmente quemada, el pH ha disminuido ligeramente en 0.27 unidades, y en la parcela totalmente quemada en 0.17 unidades, con respecto a la parcela sin quemar. La prueba de Tukey indica que no hay diferencias reales entre los promedios de pH en las dos profundidades del área quemada y no quemada; es decir, los incendios forestales no tienen efecto en el pH del suelo de 0 a 20 cm de profundidad del suelo en el cañón de Sangal Cajamarca.

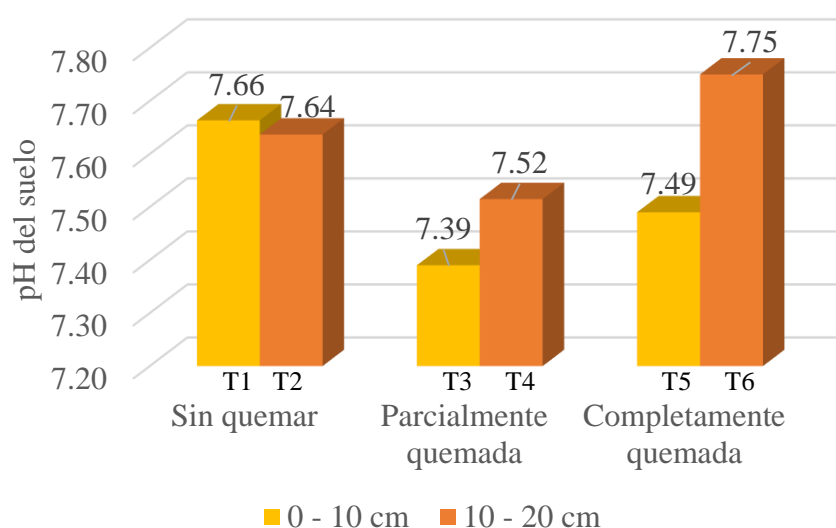


Figura 11. pH del suelo de las parcelas estudiadas.

En la parcela no afectada por el fuego, el pH ha descendido levemente en 0.02 unidades entre los 0 – 10 cm y 10 – 20 cm de profundidad. En las parcelas parcialmente y completamente quemadas se ha incrementado el valor en 0.13 y 0.26 unidades, respectivamente, entre los 0 – 10 cm y 10 – 20 cm de profundidad.

El pH del suelo, en áreas afectadas por el fuego, tiende a incrementarse significativamente debido a la acumulación de cenizas y bases cambiabiles generadas en la combustión de la vegetación (Capulín et al., 2010). Pascual (2011) & Úbeda (2001) registraron un incremento significativo en el pH del suelo, siendo mayor a medida que la intensidad del incendio aumenta.

El incremento del pH del suelo, luego de un incendio, puede ser causado principalmente por la combustión de la vegetación y la consiguiente liberación de cationes solubles, la cual es efímera (Gil et al., 2010; Pascual, 2011).

Estudios realizados durante 18 meses en bosques de pino quemados, indican que, el pH del suelo en la zona afectada tiende a retornar a las características iniciales antes del incendio, aunque siempre presentó valores de menor acidez. Este efecto se atribuye a los procesos de descomposición de los residuos orgánicos generados después del incendio, al aporte de iones H^+ y a la producción de ácidos orgánicos en el suelo (Capulín et al., 2010).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica, como medida de la salinidad del suelo, es baja en todas las parcelas; por tanto, se considera como un suelo no salino.

En las parcelas evaluadas, a medida que la intensidad del incendio ha crecido, se ha incrementado la conductividad eléctrica, registrando un incremento de 1.04

dS/m en la parcela totalmente quemada, en comparación con las parcelas no afectadas por el fuego. Similar comportamiento se ha registrado entre 10 - 20 cm de profundidad del suelo (Figura 12). Existe alta significación estadística entre los tratamientos, siendo el tratamiento 5 (parcela completamente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm) y tratamiento 3 (parcela parcialmente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm) los que presentan las mayores concentraciones de sales y son iguales estadísticamente, pero superiores a los tratamientos 6, 4, 1, 2, indicando que en la parte superficial del suelo tiene una mayor salinidad producto del paso del incendio.

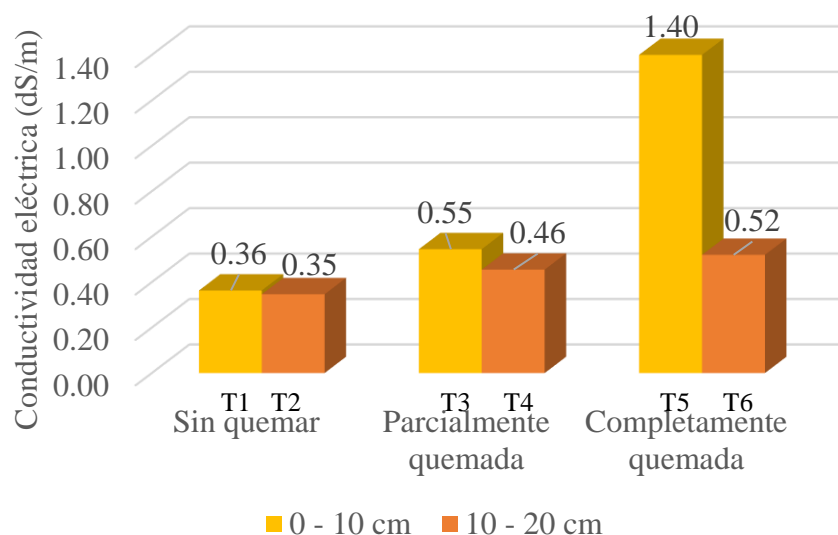


Figura 12. Conductividad eléctrica (dS/m) del suelo de las parcelas estudiadas.

Diversos autores también registraron incremento en la conductividad eléctrica en suelos luego de un incendio (Capulín et al., 2010; La Manna & Barroetaveña, 2011; Urretavizcaya, 2010). Sin embargo, estos cambios suelen ser efímeros, pues las sales que se han incorporado al suelo rápidamente son arrastradas por el agua de escorrentía (Celis et al., 2013).

Capulín et al., (2010) indican que este parámetro no es muy relevante en área de bosques naturales y no se considera perjudicial para el desarrollo de la vegetación silvestre.

4.1.3 Propiedades físicas del suelo

Textura

La clase textural del suelo en las parcelas estudiadas, no ha sufrido cambios significativos, pues se mantiene dentro del rango del suelo tipo franco (Fr, FrAr y FrArA) en las parcelas sin quemar, parcialmente y totalmente quemadas. Por lo cual, se podría afirmar que el fuego no afectó significativamente a esta propiedad del suelo.

Pascual (2011) registró variaciones poco significativas en la textura del suelo, las cuales se observaron incluso después de la acción del fuego de alta intensidad. Las variaciones fueron provocadas por la disminución del contenido de arcilla.

Arena

Se observa en todas las parcelas estudiadas que el contenido de arena en el suelo ha descendido levemente con la profundidad del suelo, siendo más evidente en la parcela que no fue afectada por el fuego, que tiene 16.7 % menos arena entre los 10 - 20 cm que en la superficie (Figura 13).

En relación a la severidad del incendio, se aprecia que en la parcela parcialmente quemada hay un incremento de arena del 22.8 % y en la parcela completamente quemada, un incremento de 6.67 %, con respecto al suelo no afectado por el incendio.

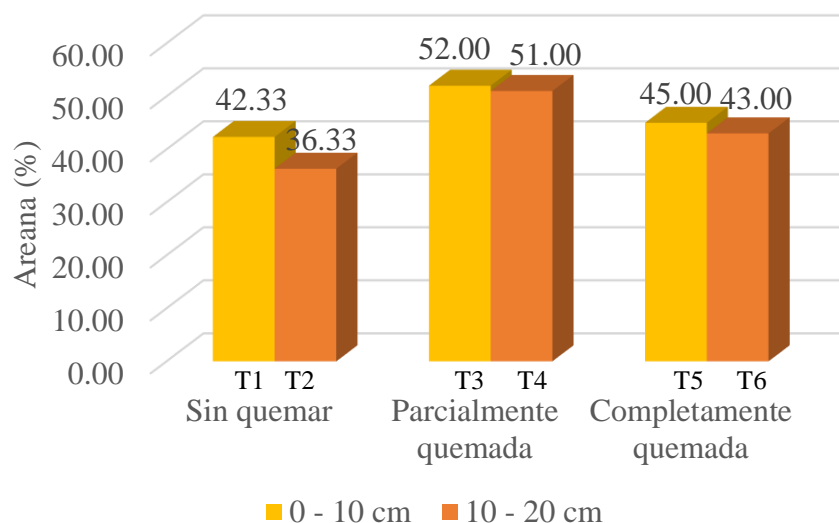


Figura 13. Arena (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

Al respecto, Bemetricux et al.1960 & Giovannini, 1994, citados por Úbeda (2001), manifiestan que existe una agregación de las arcillas después del incendio que produce un aumento de la fracción arena. Pascual (2011) registró inmediatamente después del fuego, así como en el transcurso de tres años, un aumento del porcentaje de arena en el suelo, lo cual atribuye al arrastre selectivo de las partículas finas del suelo (arcilla), más que a la acción directa del fuego.

Limo

Se observa un descenso en el contenido de limo a medida que se profundiza en el perfil del suelo (Figura 14).

El fuego ha tenido un efecto no significativo en el contenido de limo en el suelo, pues no evidencian patrones claros. En la parcela parcialmente quemada, ha disminuido en 4 % en ambas profundidades el contenido de limo; en cambio, en la parcela totalmente quemada se incrementó el contenido de limo en 3 y 1 % respectivamente en ambas profundidades.

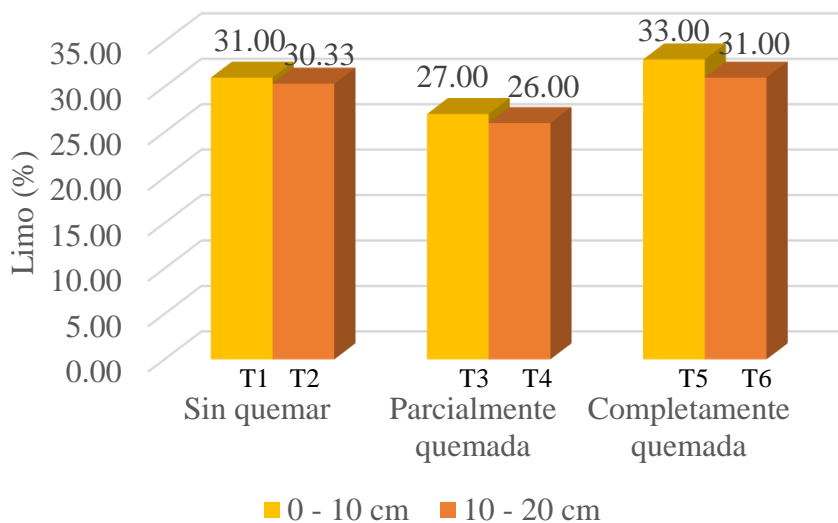


Figura 14. Limo (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

No obstante, Cáceres (2018) registró una disminución del contenido de Limo en suelos quemados en Huancayo, especialmente en la capa de 5 - 10 cm.

Arcilla

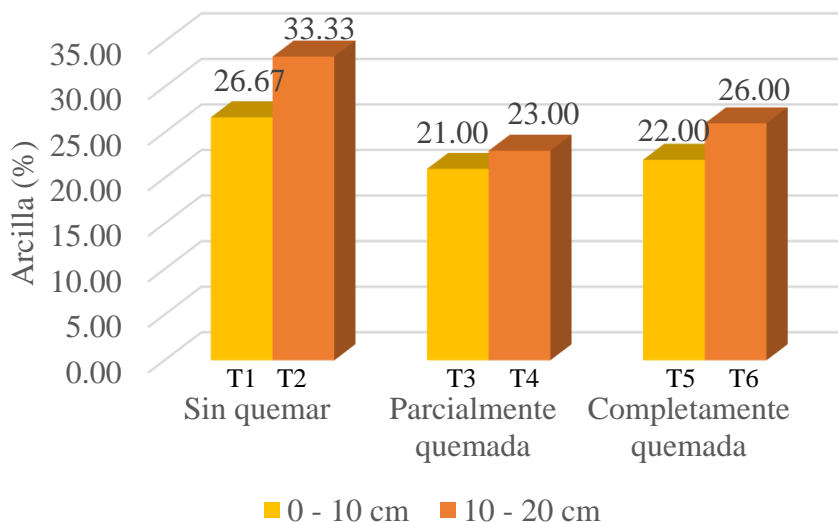


Figura 15. Arcilla (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

El porcentaje de arcilla en los 10 a 20 cm de profundidad, en todas las parcelas, ha disminuido con respecto a los 10 centímetros superiores (Figura 15).

En relación a la severidad del incendio, en los primeros 10 cm de profundidad, en las parcelas parcialmente quemadas, disminuyó el contenido de arcilla en 5.67 % y 4.67 % en la parcela completamente quemada. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Pascual (2011), en experimentos realizados, registró disminución del contenido de arcilla en el transcurso de tres años, lo cual atribuye a los procesos de erosión del suelo luego del incendio, más que a los efectos directos del fuego.

Para destruir las arcillas, el incendio debe alcanzar temperaturas entre 700 y 800 °C (Gil et al., 2010; DeBano et al. (2005) citados por Pascual, 2011), sin embargo, temperaturas cerca de 400 °C puede afectar la hidratación y estructura de las arcillas.

Color del suelo

El matiz del suelo de todas las parcelas evaluadas es 10YR, colores marrones muy oscuros por la acumulación de materia orgánica. Tres meses después del incendio forestal, el fuego ha modificado el color del suelo en los primeros 10 cm del suelo, pasando de un color más claro en el área de control a un color oscuro en el área quemada. Este cambio de color se debe principalmente a la acumulación de cenizas y materia orgánica parcialmente quemada en la superficie del suelo.

En los 10 cm superiores del suelo, el matiz Munsell (*Hue*) no varió, el brillo (*Value*) disminuyó ligeramente y la intensidad (*Chroma*) se mantuvo, generando una gama de marrones oscuros.

El ennegrecimiento de la superficie del suelo disminuye el albedo, lo cual genera una alta tendencia a calentarse, y por tanto, incrementarse la tasa de evaporación (Celis et al., 2013).

En profundidades de 10 a 20 cm, no se observó diferencias significativas en el cambio de color del suelo entre áreas quemadas y no quemadas.

Materia orgánica (% MO)

El porcentaje de materia orgánica en todas las parcelas es alto. En los 10 a 20 cm de profundidad, en todas las parcelas, disminuyó el contenido de materia orgánica con respecto a los primeros 10 centímetros de suelo (Figura 16). Este comportamiento se debe a que existe mayor cantidad de restos vegetales en la parte superior del suelo.

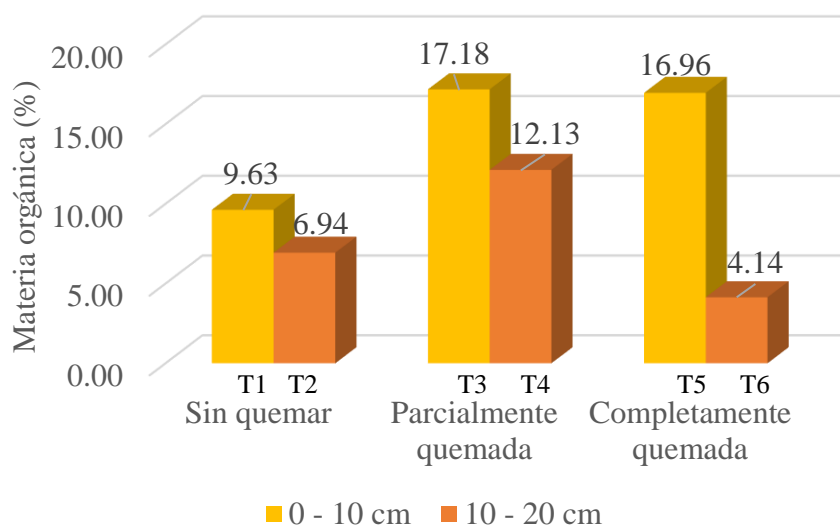


Figura 16. Materia Orgánica (%) del suelo de las parcelas estudiadas.

En los primeros 10 cm del suelo, en las parcelas parcialmente quemadas, el contenido de materia orgánica aumentó en 7.55 % en promedio, y en la parcela completamente quemada aumentó en 7.36 %, con relación al suelo no afectado por

el fuego. Este aumento puede deberse a la incorporación de materia orgánica parcialmente quemada al suelo proveniente de la parte aérea de la vegetación. La prueba estadística de Tukey con una probabilidad del 95 % indica que los tratamientos 3 (parcela parcialmente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm) y 5 (parcela completamente quemada a una profundidad de 0 - 10 cm) registran el mayor porcentaje de materia orgánica, tratamientos superiores a los tratamientos 1, 4, 2 y 6.

Los datos obtenidos en la investigación coinciden con lo encontrado por Úbeda, (2001), quién registró, después del incendio de baja intensidad, un aumento en el contenido de carbono entre 4.1 % a 5.1 % y una leve disminución en la zona más intensamente quemada (-2.16%). Asimismo, Cáceres, (2018) ha registrado una ligera tendencia (no significativa) al incremento de materia orgánica con la quema en pastizales en Huancayo.

Diversos autores indican que, el fuego tiene poco efecto en la materia orgánica, pues, fuegos de poca intensidad no generan temperaturas suficientemente altas por periodos suficientemente largos para propiciar la combustión de la vegetación, excepto en aquellas acumulaciones de materia orgánica que demoren su combustión (Cáceres, 2018).

No obstante, diversas investigaciones reportan disminución del contenido de materia orgánica del suelo luego de un incendio. Se han reportado reducciones del 34 % (Capulín et al., 2010), 45.9 % (La Manna & Barroetaveña, 2011), entre otros estudios. Los compuestos húmicos en la superficie del suelo, en un incendio, comienzan a descomponerse a unos 100 °C y se destruyen totalmente a temperaturas próximas a 500 °C (Gil et al., 2010).

4.2 Conclusiones

A tres meses del incendio forestal en el Cañón de Sangal, ubicado en la región Cajamarca, se registraron alteración en las propiedades del suelo, principalmente en los 10 cm superiores.

Según la prueba de comparación de medias de Tukey entre condiciones con una probabilidad del 95 %, no se registraron diferencias significativas en el pH, textura y en la disponibilidad de calcáreo total (% CaCO_3), fósforo disponible (P), calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+) entre las parcelas afectadas y no afectadas por el fuego.

Se registraron alta significación estadística para la conductividad eléctrica (C.E. - incremento en 130.6 % en el T3 y 288.8 % en el T5), materia orgánica (M.O. - incremento en 77.7 % en el T3 y 76.11 en el T5), nitrógeno (N - incremento en 65.8 % en el T3 y 42.1 en el T5), magnesio (Mg^{2+} incremento en 73.0 % en el T3 y 159.50 % en el T5), concentraciones que se incrementaron en suelos quemados. Asimismo, se registraron significación estadística en la concentración de potasio disponible (K - incremento en 49.67 % en el T5) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC - incremento en 27.52 % en el T3).

El suelo, en todas las parcelas, presentó colores marrones oscuros. En las parcelas afectadas por el fuego, el matiz Munsell (*Hue*) no varió, el brillo (*Value*) disminuyó ligeramente y la intensidad (*Chroma*) se mantuvo.

Los cambios en las propiedades del suelo fueron causados principalmente por el incremento de la temperatura, incorporación de cenizas al suelo por la combustión de la vegetación y condiciones climáticas post fuego.

REFERENCIAS

- Afif, E., & Oliveira, J. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Investigación Agraria*, 15(3), 262-270.
- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., & Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 543-556. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24207>
- Amiotti, N., Bravo, O., Giorgetti, H., Montenegro, O., & Rodriguez, G. (2005). Efectos del fuego controlado sobre propiedades del suelo en pastizales naturales del sur bonaerense. *Rev. Arg. Prod.*, 25(1), 403-404.
- Ayma, A., & Padilla, E. (2009). Efecto de la tala de *Podocarpus glomeratus* (Podocarpaceae) sobre la estructura de un bosque de neblina en los Andes (Cochabamba, Bolivia). *Revista Peruana de Biología*, 16(1), 73-79.
- Borges, L., Escamilla, A., Soria, M., & Casanova, V. (2005). Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 437-445.
- Botero, M., Arbeláez, O., & Mendoza, J. (2007). Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. *Scientia Et Technica*, XIII(37). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84903792>
- Cáceres, J. (2018). *Efecto de la quema de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo*. (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Continental). Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_345c003fca143bc8b1d734e604f6e561

Calvo, M., & Sanhueza, E. (2008). *Propuesta de un modelo para la restauración del bosque nativo en la cuenca del río Emperador Guillermo afectada por grandes incendios: región de aisé del general Carlos Ibáñez del Campo*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliounachotasp/detail.action?docID=319819>

3

Capulín, J., Mohedano, L., & Razo, R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79-87.

Celis, R., Jordán, A., & Martínez, L. (2013). *Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo*. Recuperado de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/53599>

Cervera, J. (2018). *Evolución del incendio forestal de Carcaixent: dos años después* (Trabajo final de grado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

García, G., & Navarro, S. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2da Edición). Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliounachotasp/detail.action?docID=317631>

3

Gil, J., Zavala, L., Bellinfante, N., & Jordán, A. (2010). Acidez y capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por incendios. Métodos de determinación e interpretación de resultados. En A. Cerdà & A. Jordán (Eds.), *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/230683036_Acidez_y_capacidad_de_intercambio_cationico_en_los_suelos_afectados_por_incendios_Metodos_de_determinacion_e_interpretacion_de_resultados

Giorgis, M., Cingolani, A., & Cabido, M. (2013). El efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales de las sierras de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 48(3-4), 493-513.

Gómez, S., Vivó, M., & Soria, E. (2001). Pruebas de significación en Bioestadística. *Revista de Diagnóstico Biológico*, 50(4), 207-218.

González, M., Lara, A., Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 215-219. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300002>

Gutiérrez, F., & Rincón, L. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.

Hedo, J. (2015). *Efecto de tratamiento selvícolas post-incendio y sequía inducida sobre el suelo y diversidad vegetal en regenerados de pino carrasco (Pinus halepensis Mill.)*. Recuperado de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/6532>

La Manna, L., & Barroetaveña, C. (2011). Propiedades químicas del suelo en bosques de *Nothofagus antarctica* y *Austrocedrus chilensis* afectados por fuego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43(1), 41-55.

Lanfranco, J., Pellegrini, A., & Cattani, V. (2014). *Contenidos de edafología, génesis, evolución y propiedades físico químicas del suelo*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliounachotasp/detail.action?docID=449939>

- Maycotte, C., Velázquez, A., & Vargas, J. (2002). *Radiación fotosintéticamente activa y propiedades fisico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. Madera y Bosques*.8(2), 39-55. 8(2), 39-55.
- Minitab. (2019). ¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples? [Mtbconcept]. Recuperado 9 de abril de 2019, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>
- Navarro, A., Figueroa, B., Sangerman, D., & Osuna, E. (2012). Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(SPE4), 690-697.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019a). Propiedades del suelo | Portal de Suelos de la FAO. Recuperado 20 de marzo de 2019, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019b). Suelos Calcáreos | Portal de Suelos de la FAO. Recuperado de Portal de Suelos de la FAO website: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-calcareos/es/>
- Pascual, A. (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* (Tesis para optar el grado de Doctor). Universidad de Sevilla, España.
- Roncal, M. (2018). Aves de Cajamarca - Birds of Cajamarca - PERÚ: Sangal y el voraz incendio que ha puesto en riesgo al Cometa de Vientre Gris. Recuperado de Aves de

Cajamarca - Birds of Cajamarca - PERÚ website:

<http://avesdecajamarca.blogspot.com/2018/09/sangal-y-voraz-incendio-que-ha-puesto.html>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2015). Incendios Forestales. Recuperado

8 de agosto de 2018, de CUIDANDO EL BOSQUE / Incendios Forestales website:

<https://www.serfor.gob.pe/cuidando-el-bosque/incendios-forestales>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017, junio 28). SERFOR elabora

propuesta de prevención y reducción de riesgo de incendios forestales en la región

Piura. Recuperado de SERFOR website: [https://www.serfor.gob.pe/noticias/serfor-](https://www.serfor.gob.pe/noticias/serfor-elabora-propuesta-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgo-de-incendios-forestales-en-la-region-piura)

[elabora-propuesta-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgo-de-incendios-forestales-en-](https://www.serfor.gob.pe/noticias/serfor-elabora-propuesta-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgo-de-incendios-forestales-en-la-region-piura)

[la-region-piura](https://www.serfor.gob.pe/noticias/serfor-elabora-propuesta-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgo-de-incendios-forestales-en-la-region-piura)

Tagle, G., Aurelio, M., Schwendenmann, L., Jiménez, J., Himmelsbach, W., Tagle, G., ...

Himmelsbach, W. (2007). Reconstrucción del historial de incendios y estructura

forestal en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Madera y*

bosques, 13(2), 51-63. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321228>

Temporetti, P. (2006). Efecto a largo plazo de los incendios forestales en la calidad del agua

de dos arroyos en la sub-región Andino-Patagónica, Argentina. *Ecología austral*,

16(2), 157-166.

Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del

suelo después de un incendio forestal. *Edafología*, 8, 41-49.

Universidad de Granada. (2019). Edafología. Recuperado 8 de abril de 2019, de

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema05/ccs.htm#anchor287051>

- Urretavizcaya, M. (2010). Propiedades del suelo en bosques quemados de *Austrocedrus chilensis* en Patagonia, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 31(2), 140-149.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000200007>
- Valdes, L., Martínez, L., Bonilla, M., & Castillo, I. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelos de pinares, Macurije, Pinar del Río, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 60-65.
- Vélez, R. (2009). *Defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencia (2a. ed.)*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliounachotasp/detail.action?docID=319507>
- 5
- Xelhuantzi, J., Garnica, F., Germán, J., Durán, C., & Agustín, Á. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3), 37-52.

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia.

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
“Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca”	Problema general: ¿Cuál es el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de	Objetivo general: Analizar el efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca.	Hipótesis general: El fuego ha causado cambios en las propiedades químicas del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca, alterando el ciclo de los nutrientes e	Variable dependiente (y): Propiedades químicas	pH (1:1) conductividad eléctrica (CE) calcáreo total (CaCO ₃) fósforo disponible (P) potasio disponible (K)	Diseño completamente al azar. Se instalaron parcelas de 40 m ² como un diseño completamente

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
	Sangal, Cajamarca?		incrementando la capacidad de intercambio catiónico.		porcentaje de nitrógeno total (% N) <hr/> Ca ²⁺ cambiable <hr/> Mg ²⁺ <hr/> cambiable <hr/> K ⁺ cambiable <hr/> Na ⁺ cambiable <hr/> Al ³⁺ + H ⁺ <hr/> cambiable	al azar. Se consideraron criterios de presencia o ausencia de fuego en el suelo del área de estudio (con incendio/sin incendio) y

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
					capacidad de intercambio catiónico (CIC)	dos profundidades de muestreo 0
Problemas específicos:		Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:	Variable independiente (x):	Indicadores:	a 10 cm y 10 a 20 cm. Cada condición tuvo
¿Cuál es la influencia del fuego en la disponibilidad de nutrientes en el suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca?		Evaluar la influencia del fuego en la disponibilidad de nutrientes en el suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	La disponibilidad de nutrientes ha sido modificada por el fuego, encontrándose un incremento en la	Suelo.	calcáreo total (CaCO ₃) fósforo disponible (P) potasio disponible (K)	3 repeticiones dentro de la zona incendiada y los testigos 3 repeticiones.

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
			concentración de algunos nutrientes en suelos afectados por el fuego en el Cañón de Sangal, Cajamarca.		nitrógeno total (% N) Ca ²⁺ cambiable Mg ²⁺ cambiable K ⁺ cambiable Na ⁺ cambiable Al ³⁺ + H ⁺ cambiable capacidad de intercambio catiónico (CIC)	

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
	¿Cuál es la influencia del fuego en el pH y conductividad eléctrica del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca?	Evaluar la influencia del fuego en el pH y conductividad eléctrica del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	la El pH y conductividad eléctrica en suelos afectados por el fuego en el Cañón de Sangal, Cajamarca no han sido alterados significativamente.		pH	conductividad eléctrica (CE)
	¿Cuál es la influencia del fuego en la textura y color	Evaluar la influencia del fuego	la El fuego no ha tenido influencia		textura	

Título	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables $y = f(x)$	Indicadores	Diseño de la investigación
del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca?	en la textura y color del suelo del Cañón de Sangal, Cajamarca.	significativa en la textura, pero si en el color del suelo en el Cañón de Sangal, Cajamarca.			color	% materia orgánica

ANEXO 2. Ficha de campo.

		Descripción
Código	:	
Fecha	:	
Coordenada UTM	:	
Altitud	:	
Condición	:	
Profundidad de muestreo	:	
Observaciones	:	

ANEXO 3. Resultados de los análisis de caracterización de suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MILAGROS ALVA MENDOZA

Departamento : CAJAMARCA
Distrito : CAÑÓN DE SANGAL
Referencia : H.R. 66351-177C-18

Bolt.: 2324

Provincia : CAJAMARCA
Predio :
Fecha : 14/12/18

Número de Muestra Lab	Claves	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
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺ meq/100g	Na ⁺ meq/100g	Al ⁺³ + H ⁺ meq/100g			
16455	DA-1	7.37	0.48	31.00	9.79	4.3	472	35	31	34	Fr.Ar.	32.80	30.65	0.88	1.17	0.10	0.00	32.80	32.80	100
16456	DA-2	7.49	0.42	22.90	12.55	4.6	615	45	29	26	Fr.	37.12	33.81	1.85	1.40	0.06	0.00	37.12	37.12	100
16457	DA-3	7.83	0.23	54.90	4.31	3.5	177	45	31	24	Fr.	24.00	22.35	1.03	0.51	0.10	0.00	24.00	24.00	100
16458	DA-4	7.75	0.34	47.20	8.45	4.3	505	43	33	24	Fr.	28.00	25.23	1.67	1.05	0.05	0.00	28.00	28.00	100
16459	DA-5	7.71	0.33	20.00	6.71	3.9	580	29	29	42	Ar.	30.40	27.89	1.12	1.26	0.13	0.00	30.40	30.40	100
16460	DA-6	7.75	0.33	27.20	7.88	4.6	664	39	31	30	Fr.Ar.	32.00	29.01	1.38	1.56	0.05	0.00	32.00	32.00	100

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 Lab.	Claves	N %
16455	DA-1	0.46
16456	DA-2	0.52
16457	DA-3	0.20
16458	DA-4	0.29
16459	DA-5	0.30
16460	DA-6	0.34



Dr. Sady García Bendeza
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



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 : MILAGROS ALVA MENDOZA

Departamento : CAJAMARCA

Distrito : CAÑON DE SANGAL

Referencia : H.R. 66351-177C-18

Bolt: 2324

Provincia : CAJAMARCA

Predio :

Fecha : 14/12/18

Número de Muestra	Lab	Claves	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
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
16461	DA-7		7.58	0.43	36.30	12.00	4.6	402	55	27	18	Fr.A.	32.32	30.24	1.18	0.84	0.05	0.00	32.32	32.32	100
16462	DA-8		7.58	0.49	27.70	16.09	5.0	520	57	27	16	Fr.A.	36.16	33.45	1.62	1.05	0.05	0.00	36.16	36.16	100
16463	DA-9		7.75	0.52	51.50	4.14	3.9	768	43	31	26	Fr.	20.32	16.63	1.72	1.92	0.05	0.00	20.32	20.32	100
16464	DA-10		7.49	1.40	41.50	16.96	6.2	890	45	33	22	Fr.	36.48	30.38	4.23	1.79	0.08	0.00	36.48	36.48	100
16465	DA-11		7.45	0.48	8.30	12.26	3.9	442	47	25	28	Fr.Ar.A.	49.92	46.92	1.68	1.19	0.13	0.00	49.92	49.92	100
16466	DA-12		7.20	0.60	4.00	18.27	22.8	738	47	27	26	Fr.Ar.A.	51.20	46.83	2.62	1.65	0.10	0.00	51.20	51.20	100

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	
16461	DA-7	0.50
16462	DA-8	0.63
16463	DA-9	0.13
16464	DA-10	0.54
16465	DA-11	0.49
16466	DA-12	0.72



Dr. Andy García Bendezu
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

ANEXO 4. Resultados del análisis de color de suelo.

Claves	Tipo Parcela	Profundidad	Seco				Húmedo			
			Hue	Value	Chroma	Color	Hue	Value	Chroma	Color
DA-1	No quemada	10 - 20 cm	10YR	2	1	black	10YR	2	1	black
DA-2	No quemada	0 - 10 cm	10YR	3	1	very dark gray	10YR	2	1	black
DA-3	No quemada	10 - 20 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	2	2	very dark brown
DA-4	No quemada	0 - 10 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	4	2	dark grayish brown
DA-5	No quemada	10 - 20 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	3	2	very dark grayish brown
DA-6	No quemada	0 - 10 cm	10YR	3	1	very dark gray	10YR	4	2	dark grayish brown
DA-7	Parcialmente Quemada	10 - 20 cm	10YR	2	1	black	10YR	2	1	black
DA-8	Parcialmente Quemada	0 - 10 cm	10YR	2	1	black	10YR	2	1	black
DA-9	Completamente Quemada	10 - 20 cm	10YR	3	2	very dark grayish brown	10YR	3	3	dark brown
DA-10	Completamente Quemada	0 - 10 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	3	1	very dark gray
DA-11	Parcialmente Quemada	10 - 20 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	2	2	very dark brown
DA-12	Parcialmente Quemada	0 - 10 cm	10YR	2	2	very dark brown	10YR	2	2	very dark brown

Fuente: Elaborado en base al reporte del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Donde:

- *Hue*: matiz.
- *Value*: brillo.
- *Chroma*: intensidad.
- *Black*: negro.
- *Very dark gray*: gris muy oscuro.
- *Very dark brown*: marrón muy oscuro.
- *Dark grayish brown*: marrón grisáceo oscuro.
- *Very dark grayish brown*: marrón grisáceo muy oscuro.
- *Dark brown*: marrón oscuro.

ANEXO 5. Tabla de interpretación.

Salinidad		Materia orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible	
Clasificación del suelo	C.E. (es)	Clasificación	%	P ppm	K ppm
Muy ligeramente salino	<2	Bajo	<2	<7.0	<100
Ligeramente salino	2 - 4	Medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240
Moderadamente salino	4 - 8	Alto	>4.0	>14.0	>240
Fuertemente salino	>8				

Relaciones catiónicas			Distribución de cationes %		
Clasificación	K/Mg	Ca/Mg	Ca²⁺	=	60 - 75
Normal	0.2 - 0.3	5 - 9	Mg ²⁺	=	15 - 20
Defc. Mg	>0.5		K ⁺	=	3 - 7
Defc. K	>0.2		Na ⁺	=	<15
Defc. Mg		>10			

Reacción o pH		Clases texturales			
Clasificación del suelo	pH				
Fuertemente ácido	<5.5	A	= arena	FrArA	= franco arcillo arenoso
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0	AFr	= arena franca	FrAr	= franco arcilloso
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5	FrA	= franco arenoso	FrArL	= franco arcillo limoso
Neutro	6.6 – 7.0	Fr	= franco	ArA	= arcillo arenoso
Ligeramente alcalino	7.1 – 7.8	FrL	= franco limoso	ArL	= arcillo limoso
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4	L	= limoso	Ar	= arcilloso
Fuertemente alcalino	>8.5				

ANEXO 6. Lista de acrónimos

- ANOVA: análisis de varianza
- CIC: capacidad de intercambio catiónico
- C.E.: conductividad eléctrica
- cmol: centimoles
- °C: grados celsius
- dS: decisiemens
- GPS: sistema de posicionamiento global
- m: metro
- meq: miliequivalente
- MO: materia orgánica
- pH: potencial de hidrógeno
- ppm: partes por millón
- UNC: Universidad Nacional de Cajamarca
- UNALM: Universidad Nacional Agraria la Molina
- UTM: Universal Transverse Mercator (universal transversal de Mercator)

ANEXO 7. Foto del área afectada por el fuego.



ANEXO 8. Foto del área no afectada por el fuego.



ANEXO 9. Foto de la toma de muestras en campo.



ANEXO 10. Planos de ubicación.