

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de:**

**INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE POTASIO Y COBRE  
EN DOS TIPOS DE SUELOS QUEMADOS EXPERIMENTALMENTE EN  
LABORATORIO SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES**

**AUTORES:**

**EDISON IVÁN BASTIDAS ALTAMIRANO**

**DIANA ALEXANDRA TOAQUIZA GUASUMBA**

**TUTOR:**

**CARLOS ÁNDRES ULLOA VACA**

**Quito, marzo del 2017**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, EDISON IVÁN BASTIDAS ALTAMIRANO con documento de identificación N° 1720147311, DIANA ALEXANDRA TOAQUIZA GUASUMBA con documento de identificación N° 1724518210, expreso mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana todos los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE POTASIO Y COBRE EN DOS TIPOS DE SUELOS QUEMADOS EXPERIMENTALMENTE EN LABORATORIO SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES.”, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de: INGENIERO AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

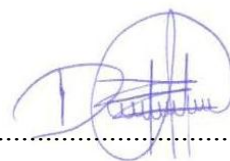
En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores suscritos este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Nombre: EDISON IVÁN  
BASTIDAS ALTAMIRANO

Cédula: 1720147311

Quito, marzo del 2017



.....  
Nombre: DIANA ALEXANDRA  
TOAQUIZA GUASUMBA

Cédula: 1724518210

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE POTASIO Y COBRE EN DOS TIPOS DE SUELOS QUEMADOS EXPERIMENTALMENTE EN LABORATORIO SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES.” realizado por EDISON IVÁN BASTIDAS ALTAMIRANO Y DAIANA ALEXANDRA TOAQUIZA GUASUMBA, cumpliendo con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2017



.....  
CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

C.I.: 1716457971

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido alcanzar tan añorado sueño y con su bendición tengo la seguridad que cumpliré aún más por complejos que sean.

A mi familia, en especial a mis padres Olga y Edison que me brindaron su apoyo y comprensión incondicional en situaciones difíciles de afrontar, a mi hermano Edwin que me da la alegría de poder seguir cumpliendo mis metas y sobre todo siempre ha permanecido a mi lado, a mis angelitos que me cuidan siempre mi abuelita Teolinda y mi tía Magdalena, gracias por los sabios consejos que me brindaron, desde el cielo sé que están felices de este logro.

A mis grandiosas amigas que conocí en el cumplimiento de este sueño, Katty, María José, Katherine, Sofía, por su apoyo incondicional y reclamos oportunos para cumplir con mis obligaciones a mis brothers Patricio y Lenin que a pesar de las distancia han sido los que con sus palabras me ayudaron a iniciar este sueño, a mi grupo la bandola, Byron, Andrés, Jonathan, Silvana, Santiago, Katty, Alex, son muchas las experiencias vividas, en las buenas y en las malas, la bandola siempre unida.

Por ultimo al grupo de trabajo que me acompañó en la representación estudiantil de la carrera, Karlita, Sebastián y Adriana, por su apoyo y paciencia, también al gran grupo formado en la FEUPS del campus sur, Gladys, David, Andrea, Deysi, José, que me enseñaron el poder de la unión, logrando cambios importantes para nuestra segunda casa.

Edison Iván Bastidas Altamirano

A Dios, por haberme permitido alcanzar tan añorado sueño brindándome fortaleza, paciencia y fe.

A mis padres Ruth y Oswaldo, pilares fundamentales en mi vida, quienes me brindaron su comprensión, amor, consejos, confianza y apoyo incondicional en circunstancias difíciles de afrontar, para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos Oswaldo, Ruth y Maycol por su ejemplo, amor y apoyo brindado, y por la alegría de poder seguir cumpliendo metas y sobre todo por siempre permanecer unidos frente a las adversidades.

A Héctor que llegó a mi vida para darle un sentido diferente, por todo el amor, paciencia, confianza, compañía y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente. A mi hija Vayoleth por ser la mayor motivación de superación en mi vida, por su inocencia, dulzura y carisma para demostrarme, aun a su corta edad lo hermoso de la vida.

A mis amigos que conocí en el transcurso de este sueño maravilloso: Ingrid, Iván, Jennifer, Sofia, Santiago, por los consejos brindados en especial a mi amiga Ingrid que siempre estuvo ahí cuando más lo necesite con su carisma y alegría inigualable contagiándome de ánimo de seguir adelante.

Diana Alexandra Toaquiza Guasumba

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Politécnica Salesiana por apoyarnos en la culminación de nuestra carrera universitaria, para llegar ser buenos profesional y personas de bien.

A nuestro tutor del trabajo de investigación Bioquímico Carlos Ulloa por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación, nos ayudó a culminar nuestros estudios con éxito.

También nos gustaría agradecer a nuestros profesores de toda nuestra carrera profesional, porque todos han aportado con un granito de arena a nuestra formación, por sus consejos, su enseñanza y sobre todo por su amistad.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 2 .....	5
OBJETIVOS .....	5
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
CAPÍTULO 3 .....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
3.1. Incendios forestales .....	6
3.2. Tipos de intensidades de un incendio forestal .....	6
3.2.1. Incendios de baja intensidad .....	6
3.2.2. Incendios de media intensidad .....	7
3.2.3. Incendios de alta intensidad .....	7
3.3. Propiedades del suelo .....	7
3.3.1. Textura de suelo .....	7
3.3.2. Humedad del suelo.....	8
3.3.3. Materia orgánica en el suelo .....	9
3.3.4. Humidificación .....	9
3.3.5. Mineralización .....	10
3.3.6. Acidez del suelo.....	10
3.3.7. Conductividad Eléctrica (CE).....	11
3.3.8. Capacidad de intercambio catiónico .....	12
3.3.9. Cationes intercambiables .....	12
CAPÍTULO 4 .....	13
MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
4.1. Materiales .....	14
4.1.1. Materiales para la toma de muestras.....	14
4.1.2. Materiales para el tratamiento térmico .....	14
4.1.3. Materiales para la determinación analítica de las propiedades físicoquímicas.....	15
4.2. Métodos .....	16
4.2.1. Diseño experimental .....	16
4.2.1.1. Tipo de diseño experimental .....	16

4.2.2.	Método de muestreo en campo .....	17
4.2.3.	Método para el tratamiento térmico .....	18
4.2.4.	Métodos para la determinación analítica de las propiedades físicoquímicas.....	19
4.2.4.1.	Humedad del suelo .....	19
4.2.4.2.	Potencial de hidrógeno (pH) .....	20
4.2.4.3.	Conductividad eléctrica.....	21
4.2.4.4.	Materia orgánica.....	21
4.2.4.5.	Clasificación textural .....	24
4.2.4.6.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	25
4.2.4.6.1.	Determinación de los cationes de cambio y saturación del complejo de cambio 27	
CAPÍTULO 5 .....		29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		29
5.1.	Recolección de datos .....	29
5.2.	Análisis y discusión de los datos .....	29
5.3.	Presentación de los datos .....	29
5.3.1.	Tratamiento térmico .....	29
5.3.2.	Propiedades físicoquímicas.....	32
5.3.2.1.	Humedad del suelo .....	32
5.3.2.2.	Potencial de hidrógeno pH .....	32
5.3.2.3.	Conductividad eléctrica.....	35
5.3.2.4.	Materia orgánica.....	37
5.3.2.5.	Clasificación textural .....	39
5.3.2.6.	Capacidad de intercambio catiónico CIC .....	42
5.3.3.	Correlación de los parámetros por el método de Pearson.....	46
5.3.3.1.	Correlación para el PCA. ....	47
5.3.3.2.	Correlación para el PMGQ.....	47
CAPÍTULO 6 .....		49
CONCLUSIONES .....		49
CAPÍTULO 7 .....		50
BIBLIOGRAFÍA .....		50
CAPÍTULO 8 .....		52
ANEXOS .....		52



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas y altura del área de muestreo en el PMGQ.....	3
Tabla 2. Coordenadas y altura del área de muestreo en el PCA. ....	4
Tabla 3. Clasificación de las partículas del suelo según su diámetro.....	8
Tabla 4. Materiales y equipos para el muestreo en campo. ....	14
Tabla 5. Materiales y equipos para la simulación de incendios forestales.....	14
Tabla 6. Materiales de laboratorio usados para la determinación analítica de las variables. ....	15
Tabla 7. Disposición de los tratamientos.....	16
Tabla 8. Modificaciones realizadas en los distintos tratamientos para el PCA y PMGQ. ....	19
Tabla 9. Tratamiento térmico y desviación estándar, para simular incendios forestales para el suelo del PCA y el PMGQ.....	29
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMG, para el tratamiento térmico .....	31
Tabla 11. Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para el tratamiento térmico. ....	31
Tabla 12. Porcentaje de humedad y desviación estándar para el suelo del PCA y el suelo del PMGQ.....	32
Tabla 13. Potencial de hidrógeno y desviación estándar para el suelo del PCA y del PMGQ. ....	32
Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ. ....	33
Tabla 15. Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para el tratamiento térmico .....	34
Tabla 16. Conductividad eléctrica de desviación estándar para el suelo del PCA y del PMGQ .....	35
Tabla 17. Clasificación de suelos según su conductividad eléctrica CE.....	36
Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ.....	36
Tabla 19. Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para la CE. ....	36
Tabla 20. Materia orgánica y desviación estándar para los suelos del PCA y del PMGQ .....	37
Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ.....	38

Tabla 22. Análisis prueba Tukey (5%) para el PCA y el PMGQ para la MO. ....	38
Tabla 23 Textura, porcentajes de arena, limo, arcilla y desviación estándar para el suelo de PCA y del PMGQ.....	39
Tabla 24. Capacidad de intercambio catiónico y desviación estándar para el suelo de PCA y el PMGQ.....	42
Tabla 25. Correlación de Pearson para los parámetros del PCA.....	47
Tabla26. Correlación de Pearson para los parámetros del suelo del PMGQ .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación del área de muestreo en el PMGQ.....	13
<i>Figura 2.</i> Mapa de ubicación del área de muestreo del PCA.....	14
<i>Figura 4.</i> Temperaturas de quema alcanzadas para los distintos tratamientos y % de pérdida de sustrato.....	30
<i>Figura 5.</i> Porcentaje de humedad vs Muestra.....	32
<i>Figura 6.</i> Potencial de hidrógeno vs muestras de suelo del PCA y del PMGQ.....	33
<i>Figura 7.</i> Conductividad eléctrica vs Muestra.....	35
<i>Figura 8.</i> Materia orgánica vs Muestra.....	37
<i>Figura 9.</i> Triangulo de textura para determinar la clasificación textural de las afectaciones del suelo del PCA a distintas intensidades.....	40
<i>Figura 10.</i> Triangulo de textura para determinar la clasificación textural de las afectaciones del suelo del PMGQ a distintas intensidades.....	41
<i>Figura 11.</i> CIC vs intensidad de quema en los suelos del PCA y del PMGQ.....	42
<i>Figura 12.</i> CIC vs MO en los suelos del PCA y PMGQ.....	43
<i>Figura 13.</i> CIC vs pH del suelo del PCA y del PMGQ.....	44
<i>Figura 14.</i> CIC vs concentración del ión $\text{Cu}^{2+}$ en los suelos del PCA y PMGQ.....	45
<i>Figura 15.</i> CIC vs concentración del ión $\text{K}^{+}$ en los suelos del PCA y PMGQ.....	46
<i>Figura 16.</i> Curva de calibración de Sodio para determinar la CIC.....	61
<i>Figura 17.</i> Curva de calibración de Potasio para determinar la CIC.....	61
<i>Figura 18.</i> Curva de calibración de Magnesio para determinar la CIC.....	62
<i>Figura 19.</i> Curva de calibración de Calcio para determinar la CIC.....	62
<i>Figura 20.</i> Curva de calibración de Magnesio para determinar su concentración.....	63
<i>Figura 21.</i> Curva de calibración de Cobre para determinar su concentración.....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de recolección de muestras de suelo en el Páramo Conservado Antisana y en el Parque metropolitano Guanguiltagua de Quito.....	52
Anexo 2. Método de quema experimental, simulando incendios forestales de baja, media y alta intensidad en las muestras de suelo .....	53
Anexo 3. Análisis de propiedades físico – químicas.....	54
Anexo 4. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico .....	58
Anexo 5. Curvas de calibración de Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> , obtenidas para la determinación de la CIC y determinar los cationes de cambio y saturación del complejo de cambio. ....	61
Anexo 6. Curvas de calibración de sodio y cobre obtenidas para determinar la concentración de los mismos. ....	63

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto determinar las alteraciones fisicoquímicas producidas cuando a diferentes muestras de suelo se exponen a condiciones de temperatura simulando incendios forestales de baja, media, y alta intensidad, además, determina las alteraciones en la capacidad de sorción de Potasio y Cobre mediante la determinación de capacidad de intercambio iónico (CIC), en muestras de suelo recolectadas del Páramo Conservado del Antisana (PCA) y del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito (PMGQ).

Para la quema de los suelos a nivel de laboratorio, se adaptó la metodología usada por Cerdá y Jordán (2010), cambiando algunos parámetros a ser tomados en cuenta para la simulación de incendios forestales. Se usó un horno eléctrico precalentado a 1000 °C, donde las muestras fueron expuestas a diferentes periodos de tiempo, alcanzando temperaturas promedio de 170, 309 y 647 °C que corresponden a incendios forestales de baja, media y alta intensidad respectivamente.

Los suelos quemados fueron analizados para determinar las alteraciones en los parámetros fisicoquímicos, evidenciando una correlación inversa entre el aumento de temperatura y el porcentaje de materia orgánica (MO); en el suelo del PCA el  $R^2$  obtenido es del 0,90 y en el PMGQ el  $R^2$  obtenido corresponde al 0,74.

La disminución de MO, manifiesta un descenso en la capacidad de sorción representada por la CIC, en contraste con lo anterior se observa una excelente correlación entre la variación de MO y la CIC en el suelo del PCA con un  $R^2$  del 0,89 y un  $R^2$  correspondiente a 0,95 en el PMGQ.

## ABSTRACT

The present research aims to determine the physicochemical alterations produced when different soil samples are exposed to temperature conditions simulating low, medium and high intensity forest fires. In addition, it determines the alterations in the potassium and copper sorption capacity through Ion exchange capacity (CIC), in soil samples collected from Antisana Conservation Park (PCA) and Metropolitan Park Guanguiltagua de Quito (PMGQ).

For the burning of the soils at the laboratory level, the methodology used by Cerdá and Jordán (2010) was adapted, changing some parameters to be taken into account for the simulation of forest fires. A preheated electric oven was used at 1000 ° C, where the samples were exposed to different periods of time, reaching average temperatures of 170, 309 and 647 ° C corresponding to low, medium and high intensity forest fires, respectively.

The burned soils were analyzed to determine the alterations in the physicochemical parameters, evidencing an inverse correlation between the increase of temperature and the percentage of organic matter (OM); On the PCA soil the  $R^2$  obtained is 0.90 and in the PMGQ the  $R^2$  obtained corresponds to 0.74.

The decrease in OM reveals a decrease in the sorption capacity represented by the CIC, in contrast to the previous one, an excellent correlation between the variation of OM and the CIC in the soil of the PCA with an  $R^2$  of 0.89 and an  $R^2$  corresponding to 0.95 in the PMGQ.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

Históricamente los incendios forestales han sido un factor determinante para la modificación de los paisajes que hoy conocemos. Cerdá y Solera (2009) afirma:

Los incendios forestales son un factor natural de los ecosistemas terrestres. La humanidad, tanto durante su etapa como cazador-recolector como en la de agricultor-ganadero, adoptó el fuego como herramienta de gestión del medio. Las sociedades terciarizadas y urbanizadas actuales han convertido al fuego en enemigo, y están fracasando en su control y manejo. (p.27)

Según datos de la Secretaría de Gestión de Riesgos en una publicación en el 2014, los meses de mayor incidencia de incendios forestales son julio, agosto y septiembre esto se debe a la baja de precipitaciones en comparación al resto del año, las provincias con mayor riesgo son Pichincha en el cantón Quito y en la provincia de Imbabura los cantones de Otavalo e Ibarra en los últimos años.

En la actualidad el Ministerio del Ambiente desarrolla el Plan de Contingencia de Incendios Forestales, este plan lo lleva a cabo en coordinación con otras instituciones como la Secretaria de Gestión de Riesgos, el Cuerpo de Bomberos, las Fuerzas Armadas y los Gobiernos Autónomos Descentralizados con el propósito de prevenir, mitigar y controlar este fenómeno natural, el plan se divide en tres etapas: la primera que consiste en labores operacionales, educación ambiental, vigilancia y alerta temprana. La segunda etapa es la colaboración con las instituciones ya mencionadas y la etapa final es un plan de remediación para reparar la cobertura vegetal original afectada.

El Ministerio del Ambiente reporta que en 2012 el área afectada por incendios forestales fue de 21.570 hectáreas, mientras que en el 2013 después de implementado el Plan de Contingencias de Incendios Forestales fue de 4.216 hectáreas que es el 19,55 % del área afectada en 2012. Los incendios forestales en Ecuador ocurren en su mayor parte por causas antrópica con un 95 % causados por el hombre, de las cuales el 25 % se da por negligencia agrícola y apenas el 5 % por causas naturales.

Se vio la necesidad de realizar el estudio, debido a que en el país no se cuenta con información bibliográfica sobre los cambios o posibles alteraciones que se puedan presentar en el suelo, Ulloa (2014), por ejemplo, afirma en su estudio que la repelencia del agua al suelo así como los valores de materia orgánica son alterados después de ocurrido un incendio forestal, sin embargo, los suelos del PMGQ recuperan su normalidad en un periodo de seis meses; pero no existen estudios específicos sobre otros parámetros como por ejemplo la capacidad de sorción de metales como sodio, potasio, magnesio y cobre, además el comportamiento de los mismos después de ser sometidos a distintas temperaturas de baja, media y alta intensidad.

El trabajo busca abordar este problema ambiental de manera formal, además, poder comprender el comportamiento de distintos tipos de suelo al ser expuestos a las mismas condiciones de temperatura simulando incendios de distinta intensidad, se busca también que el trabajo desarrollado sirva como referencia para futuras investigaciones dirigidas a la recuperación de suelos afectados por incendios forestales.



El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones de los Laboratorios de Química pertenecientes a la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, ubicado en la provincia de Pichincha en el cantón Quito, parroquia de Chillogallo.

Las muestras a ser analizadas se recolectaron de dos sitios diferentes y con distintos usos de suelo la primera se recolecto en el Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito (PMGQ) ubicado en la zona norte del cantón Quito en la parroquia Ñaquito, la otra muestra de suelo fue recolectada en el Páramo Conservado de Antisana (PCA) que se encuentra ubicada dentro de la unidad hidrográfica Jatunhuaycu; entre las provincias de Napo y Pichincha.

Las muestras tomadas para el trabajo son de diferentes tipos de suelo por lo cual se presenta dos tablas especificando la delimitación geográfica de las áreas de muestreo y la altura en relación con el nivel del mar.

En la tabla 1, se encuentran las coordenadas del polígono formado para el área de muestreo del PMGQ, estas fueron tomadas con GPS, Datum WGS84, zona 17 S.

Tabla 1.  
*Coordenadas y altura del área de muestreo en el PMGQ.*

<b>LONGITUD (m) Este</b>	<b>LATITUD (m)</b>	<b>ALTURA (msnm)</b>
781741	9979876	
781834	9979865	2928
781824	9979747	
781737	9979768	

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

En la tabla 2, se presenta las coordenadas del polígono del área de muestreo en el PCA, estas fueron tomadas con GPS, Datum WGS84, zona 17 S.

*Tabla 2.*

*Coordenadas y altura del área de muestreo en el PCA.*

<b>LONGITUD (m) Este</b>	<b>LATITUD (m)</b>	<b>ALTURA (msnm)</b>
801430	9944817	
802138	9944746	3830
802172	9944123	
801357	9944256	

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

La recopilación de datos bibliográficos para el presente trabajo se ha considerado desde el año 2000 hasta los trabajos más recientemente encontrados acerca de la temática de incendios forestales y las alteraciones que provocan en suelos. Datos que serán útiles para el análisis y discusión, de los datos obtenidos a través de las metodologías experimentales para los análisis físicos – químicos realizados en laboratorio, al igual que los datos para la evaluación de sorción de potasio y cobre.

En base a la necesidad del estudio se plantean un supuesto a ser comprobado en el desarrollo del mismo, el cual es presentado a continuación:

La capacidad de sorción en los suelos para el Potasio y Cobre se ven afectadas por la influencia de las diferentes intensidades de temperatura provocadas por los incendios forestales.

## **CAPITULO 2**

### **OBJETIVOS**

Una vez identificado el problema del estudio se determinó el objetivo que guiara al presente trabajo que se presenta a continuación:

#### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la capacidad de sorción de Potasio y Cobre en dos tipos de suelos quemados experimentalmente en laboratorio simulando incendios forestales.

#### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las alteraciones físico – químicas ocasionadas por la quema de los suelos.
- Determinar una metodología que sea adaptable a la quema de suelos en base a metodologías ya existentes.
- Determinar la influencia de la quema del suelo en los procesos de intercambio catiónico.

## CAPÍTULO 3

### MARCO TEÓRICO

#### **3.1. Incendios forestales**

El fuego es un factor ecológico natural, que han ayudado a modificar los ecosistemas terrestres a como los conocemos hoy, el fuego es esencial para la vida del planeta y del hombre ya que se transformó en una herramienta para su desarrollo en la caza, los cultivos y el aumento de la diversidad. (Cerdá & Solera, 2009, p. 27).

Para que se produzcan los incendios se necesita de tres factores esenciales del fuego que son: combustible, calor de ignición y el oxígeno; dependiendo de las características de los ecosistemas, el tipo de vegetación y suelo presente en cada uno de los mismos.

#### **3.2. Tipos de intensidades de un incendio forestal**

Las intensidades de un incendio se pueden determinar por la temperatura que alcanza el mismo y para lo cual se los clasifica de la siguiente forma:

##### **3.2.1. Incendios de baja intensidad**

Son incendios que no tienen mayor impacto en los ecosistemas es decir no se ven afectadas las propiedades del suelo, “los incendios de baja intensidad son de pequeño impacto y promueven la vegetación herbácea, incrementan la disponibilidad de nutrientes y aclaran los bosques, lo que promueve un hábitat más sano.” (Cerdá , Solera, & Doerr, 2012, p. 37).

Las temperaturas alcanzadas en los incendios de baja densidad están en un rango entre 100 y 300 °C.

### **3.2.2. Incendios de media intensidad**

Los incendios de media intensidad mantienen temperaturas en rango de 300 a 400 °C en la superficie, a estas temperaturas en el suelo se dan diversos efectos como “La desaparición de la materia orgánica, el incremento de pH en el suelo, disminuye la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la pérdida de Nitrógeno hasta en un 75 %” (Úbeda X. , 2001).

### **3.2.3. Incendios de alta intensidad**

Esta clase de incendios las temperaturas comprendidas están entre los 500 y 700 °C en la superficie, son los que generan mayores cambios en las propiedades del suelo ya que a más de tener todos los efectos de un incendio de media intensidad, ocurre “La oxidación del suelo, descomposición de los carbonatos, incremento de los cationes intercambiables y cambios irreversibles en las arcillas” (Úbeda X. , 2001).

## **3.3. Propiedades del suelo**

### **3.3.1. Textura de suelo**

Es una propiedad física en la cual podemos identificar la predominancia en porcentaje de los componentes del suelo según su tamaño de grano.

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. (Rucks et al., 2004, p.1)

La textura del suelo define los tipos de suelo en dependencia del porcentaje que se encuentre presente de arena, limo y arcilla. Los suelos arenosos tienen escasa capacidad de retener agua por los grandes espacios que presentan entre partículas,

mientras, que los suelos arcillosos al ser más finos presentan gran capacidad de retención de agua, una gran plasticidad y fuertemente adhesivo.

La fracción de limo en cambio al estar presente en ella una pequeña porción de la fracción arcilla presenta características diferentes como: cierto nivel de plasticidad, cohesión y adsorción.

En la tabla 3 se hace referencia a las dos formas más importantes de clasificación de las fracciones una del Departamento de Agricultura de U.S.A y de la Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo.

Tabla 3.  
*Clasificación de las partículas del suelo según su diámetro*

	<b>Sistema del Departamento de Agricultura de U.S.A</b>	<b>Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo</b>
<b>Fracción del Suelo</b>	Diámetros limites en mm	Diámetros limites en mm
<b>Arena muy gruesa</b>	2.00 - 1.00	
<b>Arena gruesa</b>	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
<b>Arena Media</b>	0.50 - 0.25	
<b>Arena fina</b>	0.25 - 0.10	
<b>Arena muy fina</b>	0.10 - 0.05	0.20 - 0.002
<b>Limos</b>	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
<b>Arcilla</b>	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Nota. Recuperado de Rucks, L. et al (2004). Propiedades físicas del suelo (p. 3). Montevideo: Universidad de la Republica: Facultad de agronomía

### **3.3.2. Humedad del suelo**

La humedad del suelo está en dependencia de la cantidad de agua retenida en el suelo, esta propiedad es determinante para la temperatura que tendrán los suelos, debido al calor específico del agua, y que esta se demora más en calentarse que el suelo, es decir, que un suelo que tenga mayor cantidad de agua demora más tiempo en calentarse, la humedad en el suelo llega a ser más importante en el suelo. Rucks et al. (2004) afirma:

La conductividad para el calor, es mayor que la del aire y el calor tiende a transmitir mejor si, en los poros del suelo, la proporción de agua es mayor que la

de aire. Se notará en fin, que todo cambio de estado del agua del suelo condensación, vaporización, solidificación, fusión repercute sobre la temperatura del suelo y amortigua la amplitud de sus oscilaciones. De este modo, en el calentamiento del suelo, la humedad juega un papel más determinante que la textura. (p.61)

### **3.3.3. Materia orgánica en el suelo**

La materia orgánica es uno de los parámetros fundamentales para la caracterización de los suelos por la importancia de componentes que brindan a los distintos tipos de suelo según su textura. Julca, Meneses, Blas y Bello (2006) afirma:

La materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2 % pudiendo descender a 1,65 % en los suelos pesados o arenosos puede llegar a un 2,5 %, de la materia orgánica presente en los distintos tipos de suelos, esta contiene el 5 % de Nitrógeno total.

La materia orgánica presente en el suelo se encuentra conformada por diversos componentes, pero el principal de estos es el nitrógeno, también contiene Fosforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes. La materia orgánica en el suelo se divide en dos fases de formación que son: la humidificación y la mineralización.

### **3.3.4. Humidificación**

Proceso que convierte la materia orgánica en humus, cabe recalcar que existen dos etapas la primera donde se forma el humus joven y el humus estable. El humus joven se forma por acción de los microorganismos presentes en el suelo, pero este aún no se encuentra fijado al suelo. Julca (2006) afirma:

Al humus joven también se lo llama “lábil” o “libre”, porque todavía no está fijado o ligado a las partículas del suelo, sino simplemente mezclado con ellas,

tiene una relación C/N superior a 15, es sede de una intensa actividad microbiana y se le puede considerar como un elemento fundamental de la fertilidad del suelo. (p.50)

El humus estable en cambio se encuentra fijado en el suelo es de una composición compleja y representa la mayor parte del humus total.

La materia orgánica ligada al suelo, es decir, sólidamente fijada a los agregados de color oscuro. Su composición es muy compleja (húmica, ácidos húmicos y fúlvicos) y tiene una relación de C/N entre 9 y 10, y representa en promedio el 75-80 % del humus total. (Julca et al., 2006, p.50)

El humus es de gran importancia ya que interviene en las propiedades físicas, químicas y biológicas, en las propiedades físicas del suelo favorece a la penetración y retención del agua, también favorece el intercambio gaseoso y disminuye los procesos erosivos. En las propiedades químicas incrementa la capacidad de cambio en el suelo, la capacidad de tampón, facilita la absorción y aumenta la reserva de nutrientes. En las propiedades biológicas favorece a los procesos de mineralización.

### **3.3.5. Mineralización**

Es la etapa final que cumple la materia orgánica en el suelo es un proceso lento donde los microorganismos destruyen el humus estable liberando los minerales para luego ser absorbidos por las plantas.

### **3.3.6. Acidez del suelo**

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo, como consecuencia de la transferencia de protones desde una fase líquida hacia la fase sólida, este proceso se lo puede identificar de dos formas como la alcalinización o la acidificación, en el primer proceso se da la ganancia de bases, mientras que, en el otro proceso la



ganancia de ácidos, en los dos procesos se da la variación de la capacidad neutralizante del suelo. Zapata (2004) afirma:

El grado y la causa de la acidificación varían de una condición de suelo a otra. La alcalinización de los suelos resulta del aumento de la capacidad neutralizante de los suelos ( $CNA_S$ ). La adición de bases al suelo lo faculta para neutralizar los protones que lleguen a la solución del suelo de éste. Según lo anterior, es posible expresar la acidificación o alcalinización de los suelos en términos del Factor Cantidad, como la cantidad de ácido o de base fuertes adicionados. (p.52)

La acidez del suelo es influenciada por la materia orgánica debido a ser fuente de protones, los ácidos producidos por las biomoléculas de la materia orgánica pueden llevar al suelo a mantener su pH entre 5 y 7. La capacidad de intercambio catiónico se ve favorecida por la acidez. Zapata (2004) afirma. “La desprotonación de los grupos ácidos genera cargas negativas en los coloides favoreciendo el proceso de intercambio de cationes” (p.84).

### **3.3.7. Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica de los suelos sirve para determinar la cantidad de sales que están presentes en el suelo y si estas son suficientes o pueden afectar las condiciones de absorción de agua o el crecimiento de plantas. Así, los principales cationes que forman estas sales son  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  asociados con aniones como  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  y  $HCO_3^-$ . La conductividad eléctrica se ve afectada por la temperatura en un 2 % por grado centígrado, por ello los análisis se los realiza a 25 grados centígrados (Universidad de Chile, s.f).

### **3.3.8. Capacidad de intercambio catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico representa la cantidad de cationes que se encuentran presentes en el suelos, la capacidad de intercambio catiónico depende del pH, el contenido de arcillas y la materia orgánica presente en el suelo.

El intercambio catiónico se lleva a cabo en un comportamiento entre la fase sólida y líquida. Torres, Zavala, Crocci, López (2010) afirma:

En la interfase sólido – líquido. En este caso, los elementos se hallan localizados en la superficie de las partículas (adsorbidos) y en su área de influencia, de modo que se hallan en íntimo contacto con la solución. La adsorción es la asociación de una partícula (un átomo, molécula o ión) a la superficie de un sólido. (p.334)

### **3.3.9. Cationes intercambiables**

La cantidad de cationes que se encuentren en el suelo determina la fertilidad de los suelos en especial de cationes como el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), es decir, a mayor cantidad de los cationes menor acidez en los suelos. Otro catión de gran importancia es el potasio ( $\text{K}^+$ ) que ayuda a determinar la estabilidad de calcio y magnesio. Molina (2002) afirma:

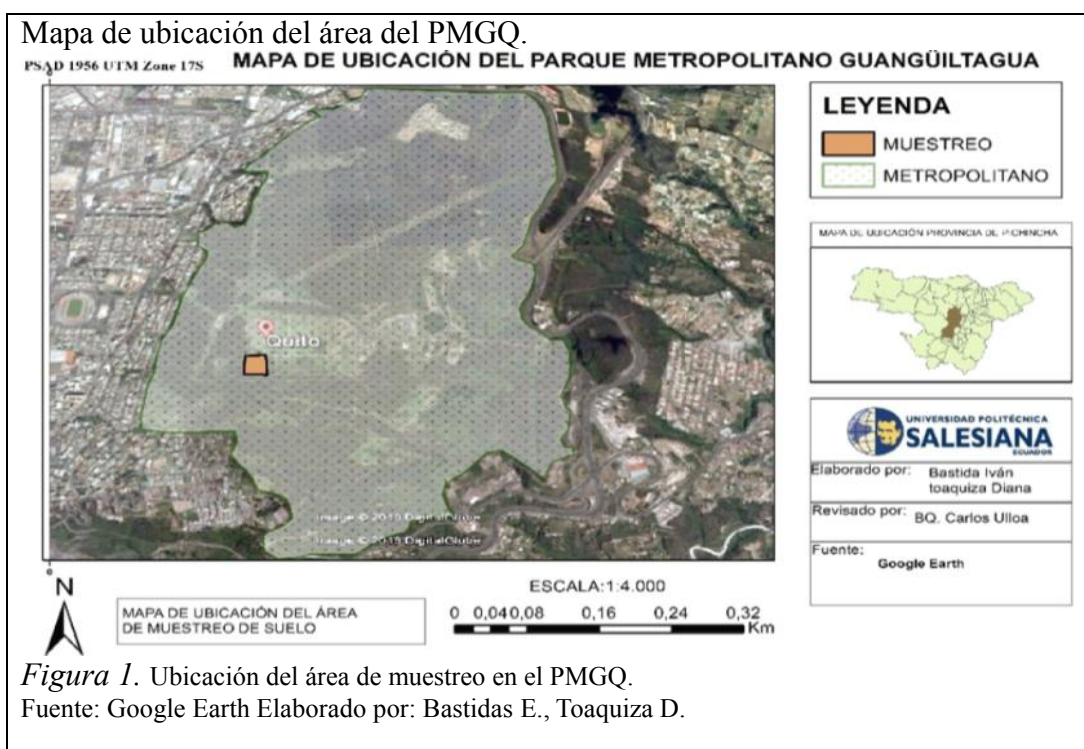
Entre más alto el contenido de Ca y Mg, mejor es la fertilidad del suelo. Si el suelo presenta una suma de bases inferior a 5 cmol (+)/l se considera que es de baja fertilidad, de 5-12 cmol (+)/l es de fertilidad media, y más de 12 cmol (+)/l es alta fertilidad. (p.6)

Los cationes antes nombrados tienen gran importancia para el crecimiento vegetal ya que son nutrientes de las plantas, mientras, que el sodio ( $\text{Na}^+$ ) tiene más relación sobre las características físicas y químicas del suelo.

## CAPÍTULO 4

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se requirió distintos materiales y métodos en sus distintas etapas, además del software ArcGis para la representación gráfica de las áreas de muestreo los cuales se detallan a continuación. En la figura 1, se encuentra la ubicación del PMGQ y su área de muestreo, la altura de la zona de muestreo en promedio es de 2928 y la textura del suelo es Arenoso franco.



En la figura 2, se encuentra la ubicación del PCA y su área de muestreo, la altura de la zona de muestreo en promedio es de 3830 y la textura del suelo es Franco arenoso.

## Mapa de ubicación del PCA

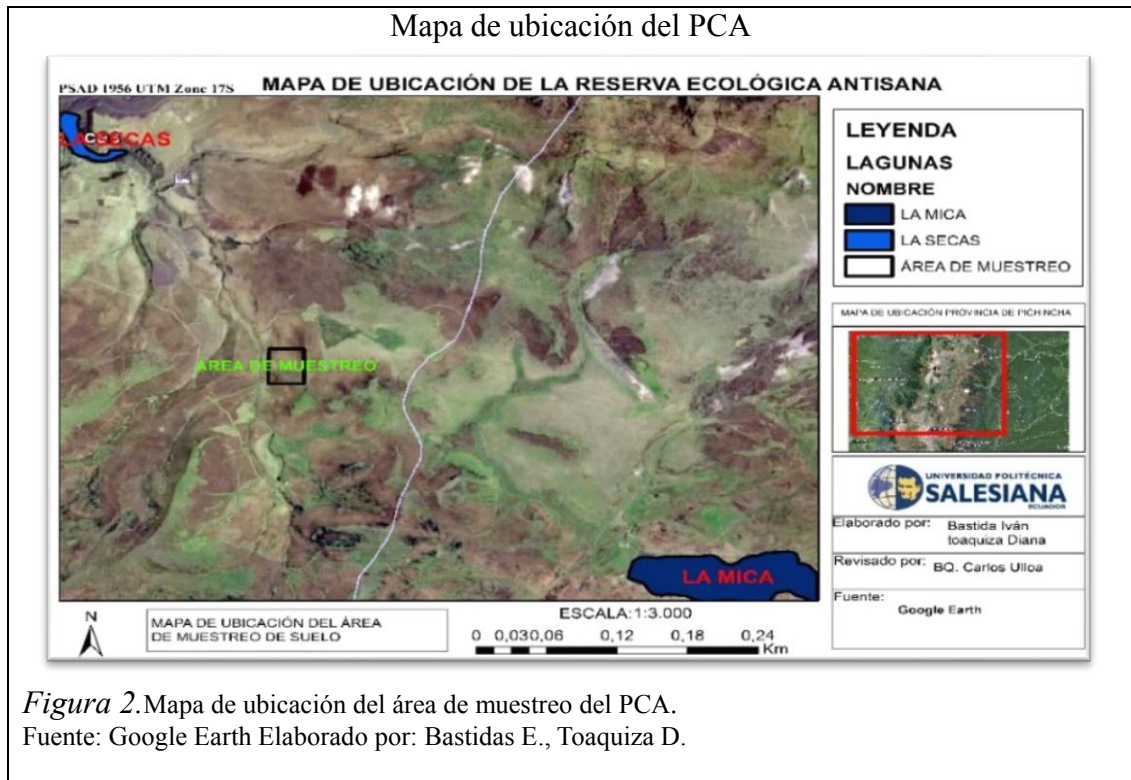


Figura 2. Mapa de ubicación del área de muestreo del PCA.  
Fuente: Google Earth Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

### 4.1. Materiales

#### 4.1.1. Materiales para la toma de muestras

Tabla 4.

*Materiales y equipos para el muestreo en campo.*

Materiales	Equipos
Palas	GPS
Barreno de tubo	
Baldes de 5 L	
Fundas plásticas con cierre hermético	
Cooler de espuma flex	

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

#### 4.1.2. Materiales para el tratamiento térmico

Tabla 5.

*Materiales y equipos para la simulación de incendios forestales*

Materiales	Equipos
Crisoles de porcelana de 100 cm <sup>3</sup>	Horno eléctrico
Crisoles de porcelana de 50 cm <sup>3</sup>	Balanza analítica
Desecador	Cronómetro
Guantes térmicos	
Pinza de laboratorio	
Espátula	

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

### 4.1.3. Materiales para la determinación analítica de las propiedades fisicoquímicas.

Tabla 6.

*Materiales de laboratorio usados para la determinación analítica de las variables.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<b>Contenido de humedad</b>		
Espátula	Balanza analítica	
Papel aluminio de peso constante	Estufa	
Desecador		
<b>Potencial de hidrógeno</b>		
Muestras de suelo	Balanza analítica	Agua destilada
Vasos de precipitado de 25 mL	Potenciómetro	Solución amortiguadora de pH 7, 4 y 10.
Pipeta de 10 mL	Agitador magnético	
Propipeta manual		
Piceta		
Agitadores magnéticos		
Espátula		
<b>Clasificación textural</b>		
Serie de tamices	Balanza analítica	
Vasos de precipitación	Agitador de tamices mecánico	
Espátula		
Brocha		
<b>Conductividad eléctrica</b>		
Vasos de precipitado de 50 mL	Balanza analítica	Agua destilada
Papel filtro	Conductímetro	
Bureta	Agitador magnético	
Piceta	Bomba de vacío.	
Embudo Buchner.		
Pipeta de 10 mL		
Propipeta manual		
Matraz Kitazato		
Tubos de centrifuga 50 mL		
Agitadores magnéticos		
Espátula		
<b>Materia orgánica</b>		
Probeta de 25 mL	Balanza analítica	Agua destilada
Matraz aforado de 1000 mL		Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )
Erlenmeyer de 500 mL		Sulfato ferroso amónico hexahidratado. (Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$ ).
Pipeta de 10 mL		Ferrióna
Propipeta manual		Ácido sulfúrico concentrado
Papel filtro		
Piceta		
Bureta		
Espátula		

<b>Capacidad de intercambio catiónico CIC</b>			
Tubos de centrifuga de 50 mL	Balanza analítica	Acetato de Sodio (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NaO <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O)	
Espátula	Centrifuga	Acetato de Amonio (C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> )	
Piceta	Bomba al vacío	Etanol al 95 %	
Pipeta de 10 mL		Agua destilada	
Propipeta manual	Espectrofotómetro de absorción atómica		
Embudo			
Balones aforados 500 ml			
Matraz Kitasato			
Matraz aforado 100ml			
Papel filtro			

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Diseño experimental

#### 4.2.1.1. Tipo de diseño experimental

Para el desarrollo de la presente investigación se usó el Diseño Completamente al Azar (DCA), el cual consistió en tres tratamientos y un testigo para el PCA y de la misma forma para el PMGQ. El testigo fue el suelo sin quemar y los tres tratamientos consisten en la quema del suelo a diferentes temperaturas para simular incendios de baja, media y alta intensidad.

Para determinación de la influencia de la quema del suelo en los procesos de intercambio catiónico y los parámetros físico-químicos, se tomó una muestra de cada tratamiento y testigo de suelo y se hicieron tres lecturas por muestra para el suelo del PCA y el PMGQ.

Tabla 7.

*Disposición de los tratamientos.*

	<b>Tratamiento</b>	<b>PCA</b>	<b>PMGQ</b>
<b>1</b>	Sin Quema	✓	✓
<b>2</b>	Quema a Baja Intensidad	✓	✓
<b>3</b>	Quema a Media Intensidad	✓	✓
<b>4</b>	Quema a Alta Intensidad	✓	✓

Elaborado por: Bastidas E. y Toaquiza D.

El presente proyecto es de carácter experimental que será desarrollado por medio de ensayos en laboratorios, donde se pueden controlar las condiciones del estudio.

El estudio presenta métodos empíricos como la observación la cual ayudará a la determinación de cambios físicos que se presenten en el objeto de estudio. Otro método usado para el proyecto es la medición, para la obtención de datos cuantitativos a partir de los análisis realizados en laboratorio a las muestras recolectadas de las áreas de estudio.

Para la interpretación y procesamiento de datos recolectados mediante observación y medición se utilizarán métodos estadísticos como el análisis de varianza, la prueba estadística de Pearson y de Tukey, que permita establecer relaciones básicas entre estudios antes realizados y el presente proyecto.

#### **4.2.2. Método de muestreo en campo**

Para la toma de muestras de suelo se utilizó un método de muestreo al azar, recogiendo las muestras establecidas en forma de zigzag, procurando que la distancia entre puntos de muestreo sea de 50 m. Se recolectaron 16 submuestras en total, 8 submuestras de la Reserva Ecológica Antisana y 8 submuestras del Parque Metropolitano Guanguiltagua, que conforman una muestra compuesta.

- 1) Se retiró la cobertura vegetal con una pala metálica.
- 2) Se recolectó las submuestras en fundas plásticas de sellado hermético para evitar posibles alteraciones, la profundidad de toma de muestras esta entre 0 – 10 cm, debido a que los horizontes superficiales son los más afectados por el fuego.
- 3) Las submuestras se mezclaron en un balde para obtener una muestra homogénea.

- 4) Se retiró 1,0 kilogramo de la muestra compuesta.
- 5) Se realizó la identificación de la muestra con los siguientes datos: coordenadas geográficas UTM, altura sobre el nivel del mar, fecha de recolección, profundidad de muestreo y número de muestra

La identificación de las muestras se las realizó con la siguiente nomenclatura para las muestra testigo del Páramos Conservado del Antisana (PCA) y para el Parque Metropolitano Guangüiltagua de quito (PMGQ).

El transporte de las muestras se lo realizó en un cooler de espuma flex para evitar las alteraciones térmicas de las muestras.

#### **4.2.3. Método para el tratamiento térmico**

Para el desarrollo de esta metodología se sometieron un total de 72 muestras a los efectos de temperatura constante en un horno eléctrico, durante distintos intervalos de tiempo crecientes según el tipo de incendio forestal que se quería simular a escala de laboratorio, se realizaron 12 repeticiones para cada intensidad (alta, media y baja intensidad).

- 1) Se colocó 50 g de muestra de suelo tamizado a 2 mm en cápsulas de 100 cm<sup>3</sup> (8 cm de diámetro y 3,3 cm de altura), observando variedad de altura en el suelo de PCA (2,23 cm) y el suelo del PMGQ (2,81 cm).
- 2) Las cápsulas se introdujeron de forma individual en un horno eléctrico precalentado a 1000 °C.
- 3) Las capsulas se depositaron sobre un trípode formado a partir de 3 cápsulas de menor capacidad invertidos que evita el contacto directo con el suelo del horno.



- 4) Las cápsulas se mantuvieron separadas de las paredes incandescentes del horno.
- 5) Se midió la temperatura máxima alcanzada durante la quema experimental mediante un termopar, que fue introducido en el centro del suelo contenido en el crisol, para seguidamente ser colocadas en el desecador. (Cerdá & Jordán, 2010, pp. 317, 318), sin embargo la metodología descrita por los anteriores autores se debieron realizar modificaciones en relación al tiempo de exposición de las muestras para alcanzar los tres tratamientos térmicos debido a las características de los suelos locales. Las modificaciones realizadas se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla 8.

*Modificaciones realizadas en los distintos tratamientos para el PCA y PMGQ.*

Suelo	Tratamiento	Tiempo [s]	Temperatura [°C]
PCA	BI	40	> 141,6
	MI	120	282,44
	AI	240	>500
PMGQ	BI	20	165
	MI	120	301,41
	AI	240	> 674

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

#### **4.2.4. Métodos para la determinación analítica de las propiedades fisicoquímicas.**

##### **4.2.4.1. Humedad del suelo**

Para medir este parámetro se usó el método gravimétrico, en el cual el sustrato fue secado en una estufa; donde la humedad del suelo se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra húmeda, y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante, se realizó 3 repeticiones para PCA y 3 repeticiones para el PMGQ.

- 1) Pesar 1 g de muestra sobre un papel aluminio a peso constante.
- 2) Colocar la muestra de suelo dentro de la estufa a 105 °C durante 24 horas.

- 3) Sacar la muestra de la estufa y colocarla dentro de un desecador para que se enfríe.
- 4) Pesar la muestra con todo y papel aluminio, hasta obtener un peso constante.
- 5) Calcular los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos. ( Fernández Linares, et al., 2006, p. 22)

Cálculos:

La humedad se expresa en porcentaje y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

(INCA, 2010)

#### **4.2.4.2. Potencial de hidrógeno (pH)**

Para la determinar el pH se utilizó el método del potenciométrico (Willard et al., 1974; Bates, 1983), se realizó 3 repeticiones en los cuatro tratamientos del PCA y PMGQ.

- 1) El suelo utilizado tuvo un pretratamiento el cual consta de secarlo al ambiente a una temperatura promedio de 20 °C durante 5 días, se homogenizó y posteriormente fue tamizado a través de una malla de 2 mm.
- 2) En un vaso de precipitado de 25 mL se pesó 1 g de suelo.
- 3) Se agregó 10 mL de agua destilada.
- 4) Mediante un agitador magnético, agitar la muestra durante 10 minutos.
- 5) Se dejó reposar 10 minutos.
- 6) Se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras (pH 4,7 y 10).
- 7) Pasados los 10 minutos, se midió el pH con el potenciómetro. ( Fernández Linares, et al., 2006, pp. 19-21)

#### **4.2.4.3. Conductividad eléctrica**

El análisis de conductividad eléctrica se realiza por medio de un conductímetro sobre una muestra de agua o extracto de suelo, el cual se realizó 3 repeticiones en los cuatro tratamientos del PCA y PMGQ; el procedimiento aplicado se detalla a continuación:

- 1) Se pesó 20 g de suelo seco y se colocó en un vaso de precipitación.
- 2) Se agregó 50 mL agua destilada con la bureta.
- 3) Utilizando el agitador magnético se agitó la mezcla durante 15 minutos.
- 4) Pasado ese tiempo se dejó reposar por una hora.
- 5) Después se agitó durante cinco minutos.
- 6) Se dejó el recipiente en reposo durante 30 min o más.
- 7) Luego se filtró en dependencia de las partículas en suspensión, para de esta forma obtener el extracto de saturación.
- 8) Se tapó el recipiente y se dejó reposar por tres horas, excepto suelos arcillosos que deben dejarse reposar 24 horas.
- 9) Se realizó la medida con el conductímetro verificando que el equipo este correctamente calibrado. ( Fernández Linares, et al., 2006, pp. 22-27)

#### **4.2.4.4. Materia orgánica**

El método de vía húmeda utilizado para determinar la MO fue el descrito por Walkey y Black (1934), basado en la oxidación del carbono de la materia orgánica presente en el suelo, mediante la acción del Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en contacto con solución sulfúrica concentrada; se realizó 3 repeticiones en los cuatro tratamientos del PCA y PMGQ; el procedimiento aplicado se detalla a continuación:

Preparación de reactivos.

- 1) Solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), 0.083 M. En una estufa a 105 °C de temperatura y durante 2 h secar aproximadamente 30 g del reactivo ( $K_2Cr_2O_7$ ), se dejó enfriar en el desecador durante 20 min, pesar 24.518 gramos y disolver en 1 litro de agua destilada.
- 2) Solución de sulfato ferroso amónico ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 0.2 M. Para prepararla disolver 78,39 gramos de ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) en 50 mL de agua destilada, añadir 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado y completar el volumen a 1 litro con agua destilada.
- 3) Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).
- 4) Solución de ferroína.

Procedimiento:

- 1) El suelo utilizado tuvo un pretratamiento el cual constó de secarlo al ambiente a una temperatura promedio de 20 °C durante 5 días, se homogenizó y posteriormente fue tamizado a través de una malla de 2 mm, para el suelo del PMGQ, se pesó 0.2 g en un vidrio reloj y para el caso del suelo del PCA se pesó 0.05 g en un vidrio reloj, y se trasvasaron a matraces de Erlenmeyer de 250 mL.
- 2) Se añadió a la muestra 10 mL de  $K_2Cr_2O_7$  y agitar suavemente para mezclar durante 1 min, seguidamente añadir con cuidado 15 mL de ácido sulfúrico concentrado, dispensar el ácido un poco a la vez, ya que genera calor, y agitar suavemente para mezclar durante 1 minuto, dejar reposar durante 1 hora.
- 3) Se añadió 100 mL de agua destilada, agitar para mezclar y dejar enfriar hasta temperatura ambiente. (Radojevic & Bashkin, 2006, pp. 312-316).

Cálculos:

- a) Para calcular el contenido de carbono orgánico de la muestra de suelo se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\text{Carbono orgánico} \left( \frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{18 \cdot C \cdot V \cdot \left( 1 - \frac{V_1}{V_2} \right)}{M}$$

Donde:

C= concentración en moles/litro de la solución del dicromato de potasio (0,166 M)

V= Volumen de solución de dicromato utilizada (10 mL)

V1= Volumen de titulante consumido en la reacción de la muestra de suelo (mL)

V2= Volumen de titulante consumido en el blanco de determinación (mL)

M= peso de suelo usado en la reacción

(Radojevic & Bashkin, 2006, p. 314)

- b) Se calculó el porcentaje de carbono orgánico en la muestra:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = \frac{\text{Carbono orgánico} \left( \frac{\text{mg}}{\text{g}} \right)}{10}$$

(Radojevic & Bashkin, 2006, p. 314)

- c) La materia orgánica se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = 1,3 * \text{Carbono orgánico (\%)}$$

(Radojevic & Bashkin, 2006, pp. 314,315)

#### 4.2.4.5. Clasificación textural

Se realizó 3 repeticiones en los cuatro tratamientos del PCA y PMGQ. Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas. (INEN, 2011, p. 1)

1. El suelo utilizado tuvo un pretratamiento el cual consta de secarlo al ambiente a una temperatura promedio de 20 °C durante 5 días, se homogenizó y posteriormente fue tamizado a través de una malla de 2 mm.
2. Se pesó los tamices previamente lavados.
3. Se seleccionó los tamices necesarios y adecuados, los cuales fueron colocados en orden ascendente de abajo hacia arriba.
4. Se pesó 200 g de muestra seca en un vaso de precipitación, se anotó el peso exacto del vaso.
5. Se colocó la muestra sobre el tamiz superior.
6. Se coloca la serie de tamices en el agitador mecánico durante un período de tiempo de 5 minutos.
7. Posteriormente se pesó los tamices y se anotó los valores. (INCA, 2010, págs. 3,4)

Cálculos:

$$\text{Peso retenido} = P_{\text{final del tamiz}} - P_{\text{inicial del tamiz}}$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso muestra total}} * 100$$

#### **4.2.4.6.Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

El método empleado (Bower et al., 1952) se fundamenta en el desplazamiento de los cationes de cambio y los iones  $H^+$  del suelo mediante una disolución monoiónica, saturando la muestra con el catión de esta disolución, procediendo seguidamente al desplazamiento y medida de este ión. Normalmente se utiliza el ión  $Na^+$  para desplazar los cationes del suelo, y el ión  $NH_4^+$  para desplazar al  $Na^+$  fijado en las posiciones de intercambio. (Cerdá & Jordán, 2010, p. 336)

- 1) El suelo utilizado tuvo un pretratamiento el cual constó de secarlo al ambiente a una temperatura promedio de 20 °C durante 5 días, se homogenizó posteriormente fue tamizado a través de una malla de 2 mm.
- 2) Se pesó 5 g de muestra de suelo.
- 3) Las muestras de suelo fueron colocadas en un tubo de centrífuga de 50 mL.
- 4) Se añadió 33 mL de acetato de sodio (1 N, pH 7).
- 5) La muestra se agita durante 5 minutos y a continuación se centrifuga durante 5 minutos a 2000-2500 rpm, hasta que el líquido sobrenadante quede transparente.
- 6) A continuación, el líquido sobrenadante se decantó sobre un matraz aforado de 100 mL.
- 7) Se volvió a tratar la muestra mediante dos porciones más de 33 mL de acetato de sodio, decantando el líquido sobrenadante sobre el mismo matraz aforado. Posteriormente, se ajustó el volumen a 100 mL con agua destilada.
- 8) Después del tratamiento con acetato de sodio, la muestra de suelo se lava con etanol para eliminar el exceso de sales. Para ello se pusieron 33 mL de etanol (95%) sobre el tubo de centrífuga que contiene el suelo saturado en  $Na^+$ ,

- 9) Se agitó y centrifugó consecutivamente como en el caso anterior, realizando 3 repeticiones. El etanol de los tres lavados se desecha.
- 10) Por último, el ión  $\text{Na}^+$  adsorbido por la muestra se desplazó con tres volúmenes de 33 mL de acetato de amonio 1N, siguiendo idéntico procedimiento anterior, pero recogiendo las tres fracciones en un matraz aforado de 100 mL y enrasando con agua destilada.
- 11) De la solución recogida se hicieron diluciones 1:10 y 1:100 con agua destilada. La cuantificación del ión  $\text{Na}^+$  adsorbido por el complejo de cambio se realizará en una de estas diluciones o en la original, según su concentración, mediante espectrofotometría de emisión atómica.
- 12) La medida de la concentración de  $\text{Na}^+$  permite obtener con un sencillo cálculo la capacidad de cambio catiónico del suelo en  $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ .
- 13) Las medidas espectrofotométricas se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica. (Cerdá & Jordán, 2010, p. 336)

Cálculos:

La capacidad de intercambio catiónico se expresa como meq de  $\text{Na}^+$  en 100 mg de suelo. Las ppm de  $\text{Na}^+$ , se obtuvo de las medidas realizadas en un espectrofotómetro de llama, el cual requirió una previa calibración para la obtención de una curva de calibración la cual se puede visualizar en el anexo 5 literal A.

$$\begin{aligned}
 \text{meq Na}/100 \text{ mg} &= \text{ppm Na Leidas} \times 10/1 \times 100/5 \times 100 / 1000 / 23 \\
 &= \text{ppm leidas Na} \times 0.8695
 \end{aligned}$$

(Calderón & Pavlova, 2008)



#### 4.2.4.6.1. Determinación de los cationes de cambio y saturación del complejo de cambio

1. La determinación de los cationes de cambio ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) se realizó en una muestra paralela de 5 g de suelo.
2. Las muestras de suelo se colocaron en un tubo de centrífuga de 50 mL.
3. Se añadió 33 mL de acetato de amonio (1N).
4. La muestra se agitó durante 5 minutos y a continuación se centrifugó durante 5 minutos a 2000-2500 rpm, hasta que el líquido sobrenadante quede transparente. En el caso de suelos calizos, los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se extraerán de manera similar con una solución de acetato de sodio (1 N, pH 7).
5. El líquido sobrenadante se recogió en un matraz aforado de 100 mL y se enrasa con agua destilada.
6. En este extracto determina la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  mediante espectrofotometría de absorción atómica, y  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , mediante espectrofotometría de emisión. Los resultados se expresan en  $\text{cmol (+) kg}^{-1}$ . (Cerdá & Jordán, 2010, p. 336)

Cálculos:

Las ppm de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  se obtuvo de las medidas realizadas en un espectrofotómetro de llama, el cual requirió una previa calibración para la obtención de una curva de calibración la cual se puede visualizar en el anexo 5 literal A, B,C y D. La saturación en bases del complejo de cambio se expresa como porcentaje (V) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+]) \times 100 / \text{CIC}$$

(Cerdá & Jordán, 2010, p. 337)

Donde:

$[Ca^{2+}]$ = es la cantidad del catión  $Ca^{2+}$  expresada en  $cmol (+) kg^{-1}$  de suelo.

$[Mg^{2+}]$ = es la cantidad del catión  $Mg^{2+}$  expresada en  $cmol (+) kg^{-1}$  de suelo.

$[K^+]$ = es la cantidad del catión  $K^+$  expresada en  $cmol (+) kg^{-1}$  de suelo.

$[Na^+]$ = es la cantidad del catión  $Na^+$  expresada en  $cmol (+) kg^{-1}$  de suelo. (Cerdá & Jordán, 2010, p. 337)

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1.Recolección de datos

La investigación tuvo lugar en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito campus Sur, Carrera de Ingeniería ambiental durante el período 2015-2016.

La investigación mantiene un proceso que permite la recolección de datos mediante análisis se laboratorio, tanto para el tratamiento térmico como para las propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados.

#### 5.2.Análisis y discusión de los datos

El análisis y la vinculación de los datos obtenidos de los tratamientos y repeticiones aplicadas a los suelos del PCA y del PMGQ, durante el proceso experimental en el laboratorio fueron analizados con medidas de centralización (media) y con medidas de dispersión (varianza, desviación), el análisis estadístico se realizó utilizando el Software de análisis estadístico InfoStat donde se analizó el ANOVA y la prueba estadística de Tukey (5%), para un DCA. Para determinar la relación entre variables cuantitativas se usó el coeficiente de correlación de Pearson.

#### 5.3.Presentación de los datos

##### 5.3.1. Tratamiento térmico

Tabla 9.

*Tratamiento térmico y desviación estándar, para simular incendios forestales para el suelo del PCA y el PMGQ.*

Tipo de suelo	Intensidad de quema	% de pérdida de sustrato	STD±	Temperatura de quema (°C)	STD±
PCA	BI	13,11	1,40	153,42	28,35
	MI	28,82	0,30	287,94	21,73
	AI	35,90	0,64	603,27	19,07
PMGQ	BI	7,48	1,40	187,14	14,74
	MI	10,76	0,30	329,80	18,91
	AI	9,71	0,64	689,80	6,91

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Temperatura de quema experimental simulando incendios forestales.

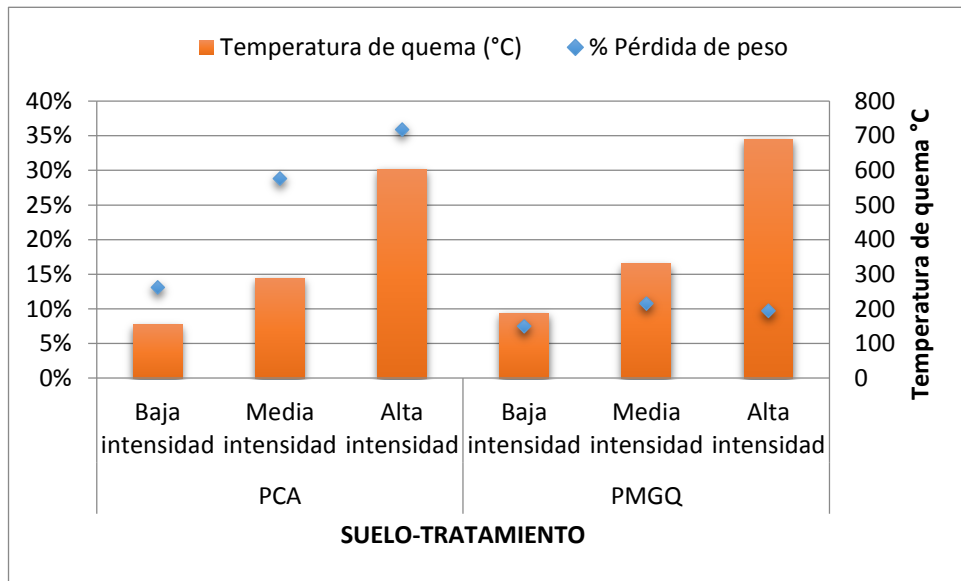


Figura 3. Temperaturas de quema alcanzadas para los distintos tratamientos y % de pérdida de sustrato.

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

En el gráfico se puede observar que existe una relación directa entre la intensidad de quema y el aumento de temperatura alcanzando la máxima temperatura que corresponde a 689,8 °C perteneciente al suelo del PMGQ en el tratamiento de alta intensidad y la mínima temperatura de 153,42 °C perteneciente al suelo del PCA en el tratamiento de baja intensidad.

El porcentaje de pérdida de peso de la muestra es directamente proporcional al aumento de temperatura en el suelo del PCA; en el tratamiento de alta intensidad se registra el porcentaje de pérdida más alto con el 35,9 % del peso total de la muestra. En el suelo del PMGQ presenta un descenso en el porcentaje de pérdida de peso en el tratamiento de alta intensidad comparando con los tratamientos de baja y media intensidad.

Tabla 10.

*Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ, para el tratamiento térmico*

F.V	PCA		PMGQ	
	p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
<b>Tratamiento térmico</b>	< 0,0001	S	< 0,0001	S
<b>Repeticiones</b>	0,0318	S	0,7589	SN
<b>CV</b>		4,52		3,95

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 10, obtenidos luego de aplicar el ANOVA para un nivel de significancia del 5 %, se encontró que el efecto del tratamiento térmico fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) para los suelos del PCA y del PMGQ, siendo este el que va a determinar el cambio de la muestra debido a las temperaturas a la cual estarán expuestas la muestras.

Los coeficientes de variación expresados en porcentaje para el suelo del PCA y del PMGQ expuestas a los tratamientos térmicos son 4,52 % y 3,95 % respectivamente, los cuales indican que el experimento se realizó correctamente.

Tabla 11.

*Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para el tratamiento térmico.*

Tratamientos	PCA			PMGQ		
	Medias	n	E.E.	Medias	n	E.E.
<b>BI</b>	153,42	5	7,04 A	187,14	5	7,10 A
<b>MI</b>	287,94	5	7,04 B	329,80	5	7,10 B
<b>AI</b>	603,27	5	7,04 C	689,80	5	7,10 C

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Las variaciones de temperatura para el suelo del PCA y del PMGQ a exposición térmica se presentan en la tabla 11, donde se observa que la intensidad de quema aumenta directamente con la temperatura. Presentando diferencias entre todos los tratamientos en los dos suelos estudiados.

### 5.3.2. Propiedades fisicoquímicas

A continuación, se presenta el análisis estadístico para cada parámetro fisicoquímico evaluado en la presente investigación.

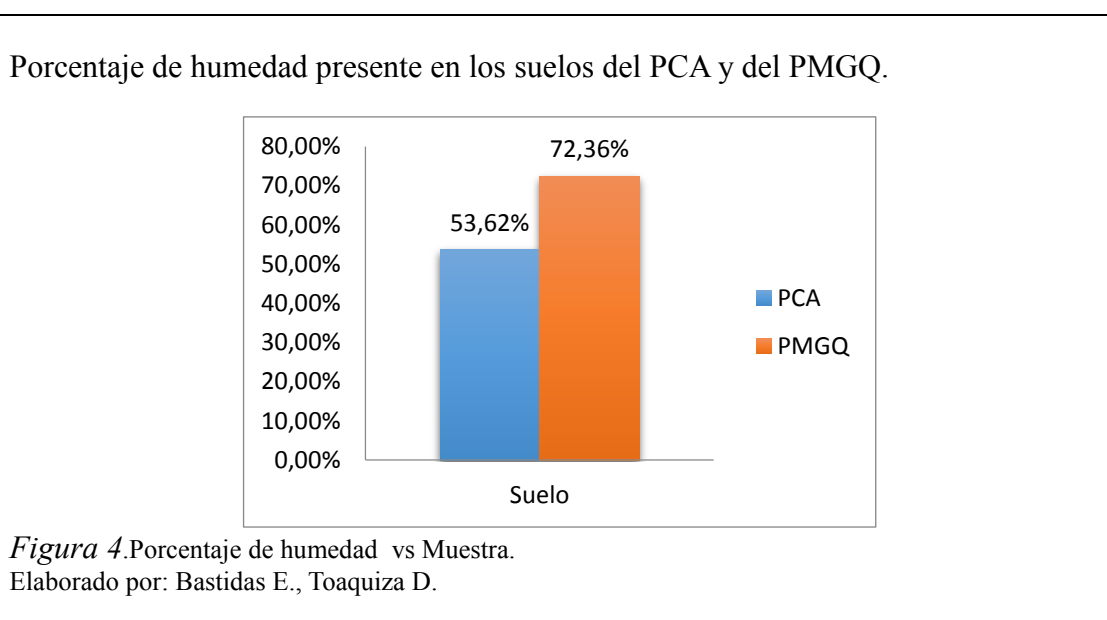
#### 5.3.2.1. Humedad del suelo

Tabla 12

*Porcentaje de humedad y desviación estándar para el suelo del PCA y el suelo del PMGQ*

	<b>% Humedad</b>	<b>STD±</b>
PCA	53,62	0,354
PMGQ	72,364	0,279

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.



En este gráfico se puede visualizar que el mayor porcentaje de humedad se presenta en el suelo del PMGQ con un 72,36 % y el suelo del PCA presenta un porcentaje de humedad correspondiente al 53,62%.

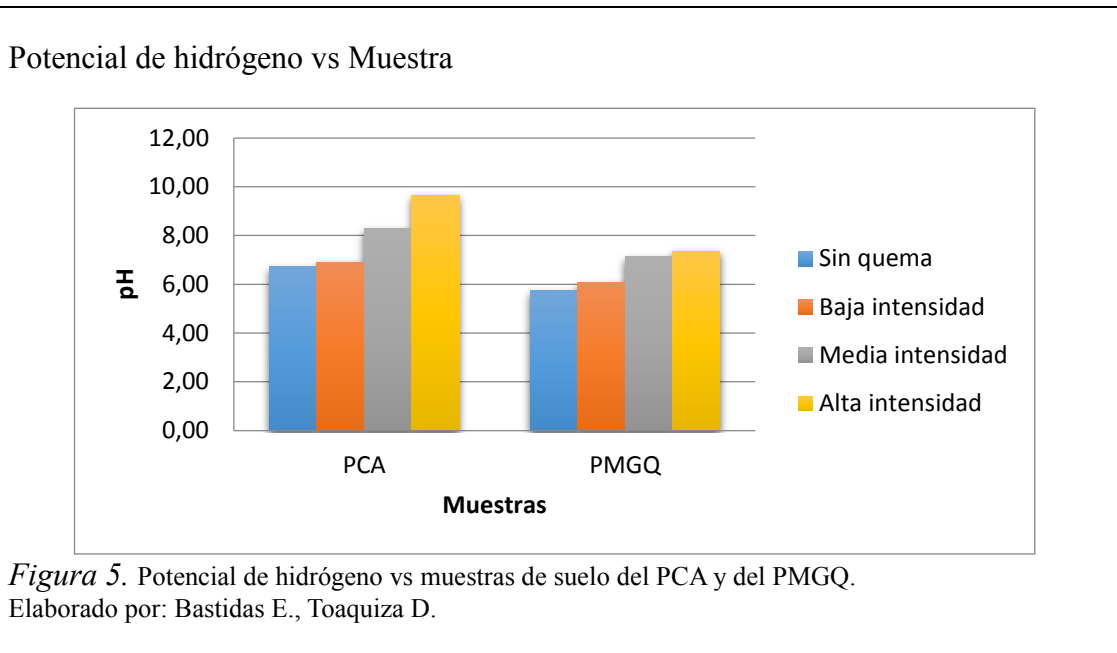
#### 5.3.2.2. Potencial de hidrógeno pH

Tabla 13.

*Potencial de hidrógeno y desviación estándar para el suelo del PCA y del PMGQ.*

<b>Tratamiento</b>	<b>PCA</b>	<b>STD±</b>	<b>PMGQ</b>	<b>STD±</b>
<b>SQ</b>	6,71	0,357	5,73	0,08
<b>BI</b>	6,90	0,015	6,07	0,044
<b>MI</b>	8,29	0,172	7,12	0,032
<b>AI</b>	9,65	0,010	7,36	0,031

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.



Los valores reportados en las tablas de pH muestran que después de ser sometidos a la quema de suelos a intensidades baja, media y alta, los mismos muestran un aumento con respecto a las muestras testigo de los dos tipos de suelo estudiados, según Varela (2007) los valores de pH generalmente se incrementan en los suelos quemados debido a la reducción de ácidos orgánicos, y al aporte de cenizas con carácter alcalino.

Los valores de pH reportados en el suelo de páramo, son mayores a los suelo de PMGQ después de realizada la quema, en todas sus intensidades, esto se debería al alto grado de materia orgánica presente en el suelo del PCA.

Con respecto a las muestras de suelo del PMGQ los cambios en el pH son significativos lo que muestra la presencia de materia orgánica.

Tabla 14.

*Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ.*

F.V	PCA		PMGQ	
	p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
Tratamiento térmico	< 0,0001	S	< 0,0001	S
Repeticiones	0,6846	SN	< 0,0001	S
CV		2,79		0,57

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 14, obtenidos luego de aplicar el ANOVA para un nivel de significancia del 5 %, se encontró que el efecto del tratamiento térmico fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) para los suelos del PCA y del PMGQ, siendo este el que va a determinar el cambio de pH en la muestra.

Los coeficientes de variación para el suelo del PCA y del PMGQ expuesta a los tratamientos térmicos son 2,79 % y 0,57 % respectivamente, los cuales indican que los resultados son confiables.

Tabla 15.

*Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para el tratamiento térmico*

Tratamientos térmicos	PCA			PMGQ		
	Medias	E.E.	Rango	Medias	E.E.	Rango
<b>SQ</b>	6,71		A	5,73		A
<b>BI</b>	6,90	0,13	A	6,07	0,02	B
<b>MI</b>	8,29		B	7,12		C
<b>AI</b>	9,65		C	7,36		D

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Las variaciones de temperatura (intensidad) para el suelo del PCA y del PMGQ, se presentan en la tabla 15, donde se observa que el pH aumenta directamente con la intensidad de quema. En el caso del suelo del PMGQ presenta diferencias en todos los tratamientos. Al contrario del suelo del PCA presentando diferencia significativa en los valores de pH obtenidos en las muestras sometidas al tratamiento de AI y MI, con respecto a los demás tratamiento aplicados a las muestras SQ, BI que no presentan diferencia.



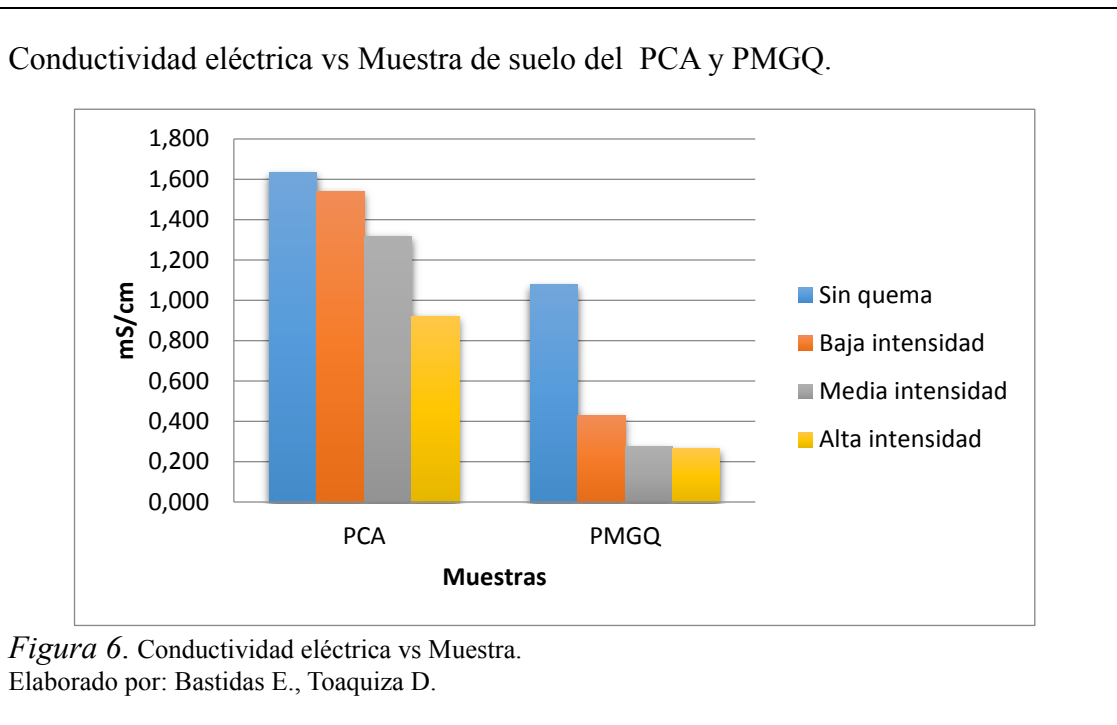
### 5.3.2.3. Conductividad eléctrica

Tabla 16.

Conductividad eléctrica de desviación estándar para el suelo del PCA y del PMGQ

Tratamiento	Conductividad eléctrica [mS/cm]					
	PCA	Categoría 20,4 °C	STD±	PMGQ	STD±	Categoría 19,8 °C
<b>SQ</b>	1,642	No salino	0,020	1,076	0,001	No salino
<b>BI</b>	1,540	No salino	0,002	0,428	0,002	No salino
<b>MI</b>	1,816	No salino	0,026	0,273	0,001	No salino
<b>AI</b>	0,921	No salino	0,004	0,265	0,001	No salino

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.



La CE en los dos tipos de suelos estudiados presentan una misma tendencia en el aumento de los valores de CE, en el suelo del PCA se observa el incremento en todas las intensidades de quema, para la intensidad media con un valor de 1,81 mS/cm siendo el valor mayor. Para las muestras de suelo del PMGQ, presenta la misma tendencia de aumento en todas las intensidades de quema, pero su valor mayor de 0,4277 mS/cm se reporta en una intensidad baja. Los suelos del estudio corresponden al tipo de suelos no salinos según Hoor & Alphen (1994) los suelos con conductividad eléctrica menor a 2 dS/m son de tipo no salinos. La relación entre los valores bibliográficos y prácticos es igual según el factor de conversión de unidades.

Tabla 17.

*Clasificación de suelos según su conductividad eléctrica CE.*

<b>CE promedio (dS/m)</b>	<b>Categorías</b>	<b>Rendimiento de cultivo</b>
<b>0-2</b>	No salino	Ningún cultivo es afectado
<b>2-4</b>	Ligeramente salino	Cultivos sensibles afectados
<b>4-8</b>	Salino	Muchos cultivos afectados
<b>8-16</b>	Fuertemente salino	Posibles cultivos tolerantes
<b>&gt;16</b>	Extremadamente salino	Muy pocos cultivos

Nota. Recuperado de Ritzema, H. P., (2006). Drainage principles and applications (p. 535). Holanda: International Institute for Lan Reclamation and Improvement.

Tabla 18.

*Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ*

<b>F.V</b>	<b>PCA</b>		<b>PMGQ</b>	
	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamiento térmico</b>	< 0,0001	S	< 0,0001	S
<b>Repeticiones</b>	0,3722	SN	0,3877	SN
<b>CV</b>		1,01		0,19

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 18, obtenidos luego de aplicar el ANOVA para un nivel de significancia del 5 %, se encontró que el efecto del tratamiento térmico fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) para los suelos del PCA y del PMGQ, siendo este el que va a determinar el cambio de la conductividad eléctrica de la muestra.

Los coeficientes de variación para el suelo del PCA y el PMGQ expuestas a los tratamientos térmicos son 1,01 % y 0,19 % respectivamente, los cuales indican que los resultados son confiables.

Tabla 19.

*Análisis prueba Tukey (5%) para el suelo del PCA y del PMGQ para la CE.*

<b>Tratamiento</b>	<b>PCA</b>			<b>PMGQ</b>		
	Medias	E.E.	Rango	Medias	E.E.	Rango
<b>AI</b>	0,920		A	0,270		A
<b>MI</b>	1,320		B	0,270		B
<b>BI</b>	1,54	0,01	C	0,43	0,0001	C
<b>SQ</b>	1,63		D	1,08		D

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Las variaciones de temperatura (intensidad) para el suelo del PCA y del PMGQ a exposición térmica se presentan en la tabla 19, donde se observa que la CE tiene una

relación inversa con la intensidad de quema. Presentando diferencias entre todos los tratamientos en los dos suelos estudiados.

### 5.3.2.4. Materia orgánica

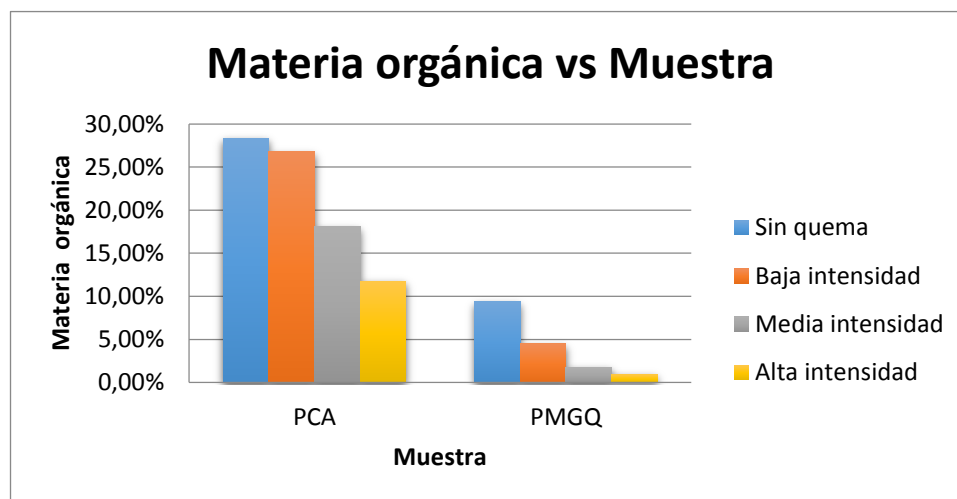
Tabla 20.

*Materia orgánica y desviación estándar para los suelos del PCA y del PMGQ*

Tipo de suelo	Tratamiento	M.O (%)	STD±
PCA	SQ	28,31	1,78
	BI	26,75	2,26
	MI	18,07	2,21
	AI	11,72	0,54
PMGQ	SQ	9,39	0,54
	BI	4,47	0,21
	MI	1,78	0,09
	AI	0,93	0,15

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Porcentaje de Materia orgánica para los suelos del PCA y PMGQ.



*Figura 7.* Materia orgánica vs Muestra

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Se observó que los valores de materia orgánica de los dos tipos de suelos analizados disminuyen después de ser sometido a la quema en todas sus intensidades, la pérdida más significativa se presenta a una alta intensidad, esto podría ser debido a que toda la materia orgánica presente en el suelo combustiono.

Al contrario de las otras intensidades en las cuales se combustiona la materia orgánica más superficial, Varela (2007) afirma: “pueden producirse pérdidas de materia orgánica a temperaturas mayores de 100°C y a temperaturas menores de 200°C se pierden los constituyentes volátiles” (p. 35).

Tabla 21.

*Análisis de varianza (ANOVA) para el suelo del PCA y del PMGQ*

F.V	PCA		PMGQ	
	p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
<b>Tratamiento térmico</b>	0,0001	S	< 0,0001	S
<b>Repeticiones</b>	0,5607	SN	0,3445	SN
<b>CV</b>		9,06		7,03

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 21, obtenidos luego de aplicar el ANOVA para un nivel de significancia del 5 %, se encontró que el efecto del tratamiento térmico fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) para los suelos del PCA y ( $p = 0,0001$ ) del PMGQ, siendo este el que va a determinar el cambio de la materia orgánica de la muestra.

Los coeficientes de variación para el suelo del PCA y del PMGQ expuestas a los tratamientos térmicos son 9,06 % y 7,03 % respectivamente, los cuales indican que los resultados son confiables.

Tabla 22.

*Análisis prueba Tukey (5%) para el PCA y el PMGQ para la MO.*

Tratamiento	PCA			PMGQ		
	Medias	E.E.	Rango	Medias	E.E.	Rango
<b>AI</b>	11,730		A	0,930		A
<b>MI</b>	18,070	1,11	B	1,780	0,17	B
<b>BI</b>	26,75		C	4,47		C
<b>SQ</b>	28,31		C	9,39		D

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Las variaciones de temperatura (intensidad) para el suelo del PCA y del PMGQ a exposición térmica se presentan en la tabla 22, donde se observa que la materia

orgánica tiene una relación inversa con la intensidad de quema. En el caso del suelo del PMGQ presenta diferencias en todos los tratamientos. Al contrario del suelo del PCA presentando diferencia significativa en los valores de materia orgánica obtenidos en las muestras sometidas al tratamiento de AI y MI, con respecto a los demás tratamiento aplicados a las muestras SQ, BI que no presentan diferencia.

### 5.3.2.5. Clasificación textural

Tabla 23

*Textura, porcentajes de arena, limo, arcilla y desviación estándar para el suelo de PCA y del PMGQ.*

Suelo	Tratamiento	% Arena	STD±	% Limo	STD±	% Arcilla	STD±	Clase textural
PCA	SQ	79,113	1,265	9,002	0,351	11,885	0,982	Franco arenoso
	BI	88,796	0,807	4,435	0,882	6,769	0,248	Arenoso franco
	MI	64,517	0,306	11,150	0,917	24,333	0,643	Franco arcilloso arenoso
	AI	78,977	2,264	7,164	0,247	13,859	2,039	Franco arenoso
PMGQ	SQ	88,933	1,979	4,533	0,653	6,533	1,371	Arenoso franco
	BI	80,533	0,513	8,567	0,701	10,900	0,606	Franco arenoso
	MI	79,333	0,978	7,533	0,225	13,133	0,318	Franco arenoso
	AI	82,700	0,577	5,667	0,225	11,633	0,451	Franco arenoso

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Triangulo de textura para determinar la clasificación textural del suelo del PCA.

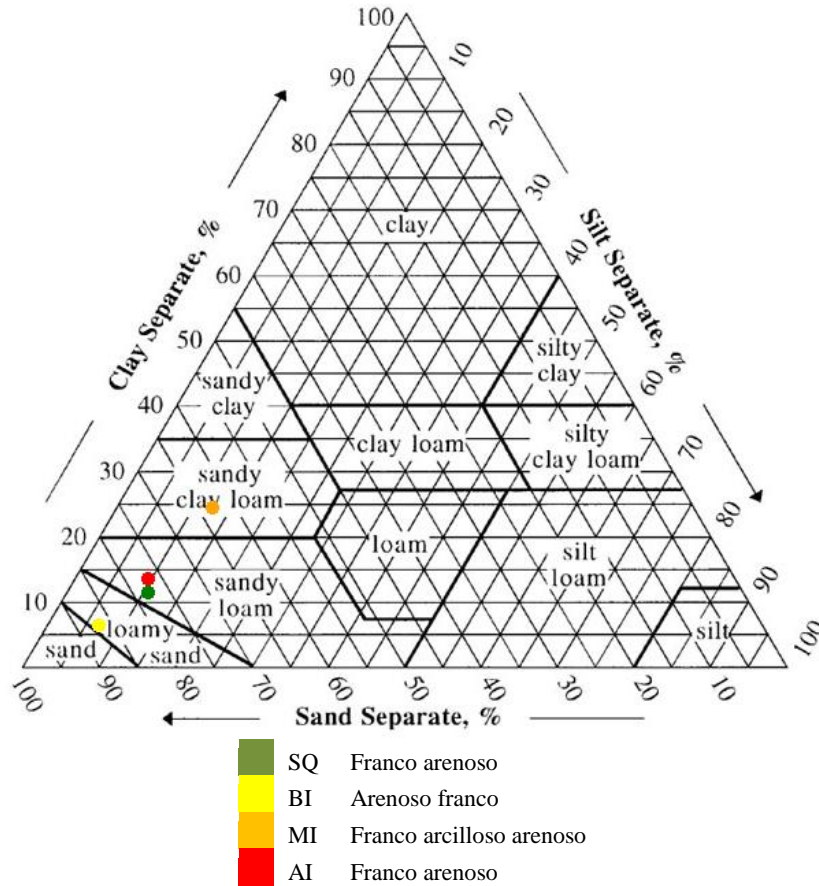


Figura 8. Triangulo de textura para determinar la clasificación textural de las afectaciones del suelo del PCA a distintas intensidades.

Fuente: NRCSS. Natural Resource Conservation Service Soli, (2017). Soil Texture Calculator. Recuperado de [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167).

Como muestran los datos en la tabla 23 de textura para el suelo del PCA, presenta ligeros cambios en los porcentajes de limo, arena y partículas finas entre la muestra testigo y la muestra expuesta a distintas intensidad de quema, observando que los porcentajes de limo y de arcilla en las intensidades de baja y media de quema presentan ascenso provocando cambios en la textura del suelo, “los cambios que puede sufrir la estabilidad estructural después de un incendio forestal son difíciles de evaluar. Esta depende de muchos factores, entre ellos las propiedades del suelo o la intensidad del incendio” (Velasco & Úbeda, 2014, pp. 334, 335). Este hecho ha dado lugar a discrepancia y, sobre todo, a una gran diversidad de resultados.

Triangulo de textura para determinar la clasificación textural del PMGQ.

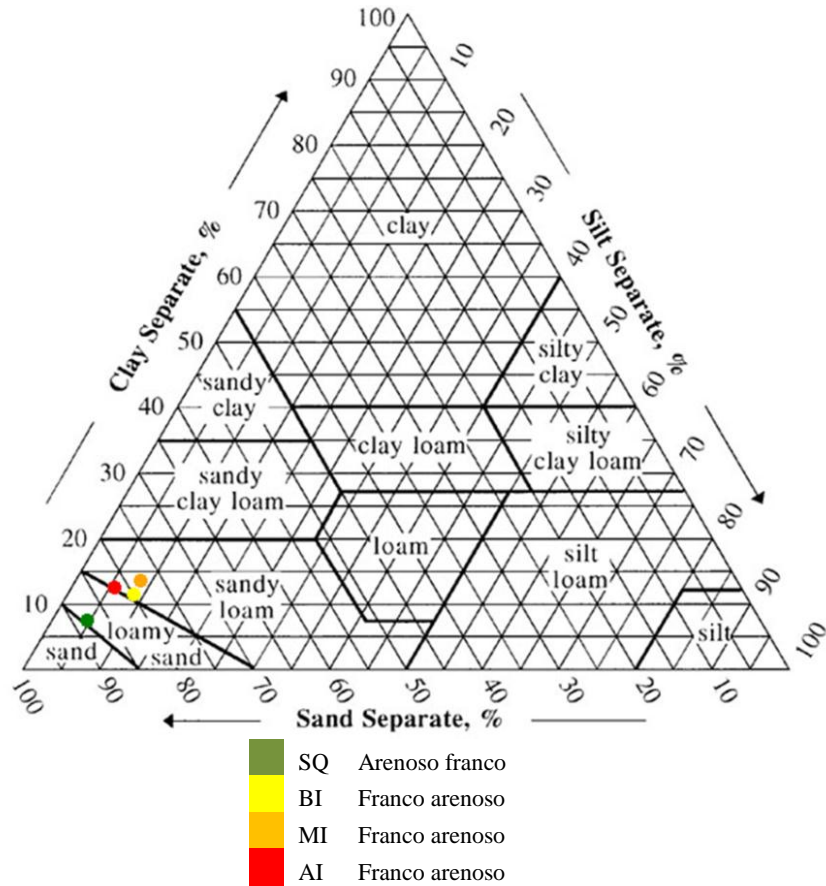


Figura 9. Triangulo de textura para determinar la clasificación textural de las afectaciones del suelo del PMGQ a distintas intensidades.

Fuente: NRCSS. Natural Resource Conservation Service Soli, (2017). Soil Texture Calculator.

Recuperado de

[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167).

En las muestras de suelo del PMGQ, presentan ligeros cambios en los porcentajes de limo, arena y partículas finas, tanto en la muestra testigo como en las muestras expuestas a intensidades baja, media y alta, “la textura del suelo después de incendios de intensidad media como alta experimenta una disminución de la fracción de arena de un 8% y un aumento de los limos como de arcillas del 5% y el 3% respectivamente” (Úbeda & Salas, 1996, p. 562).

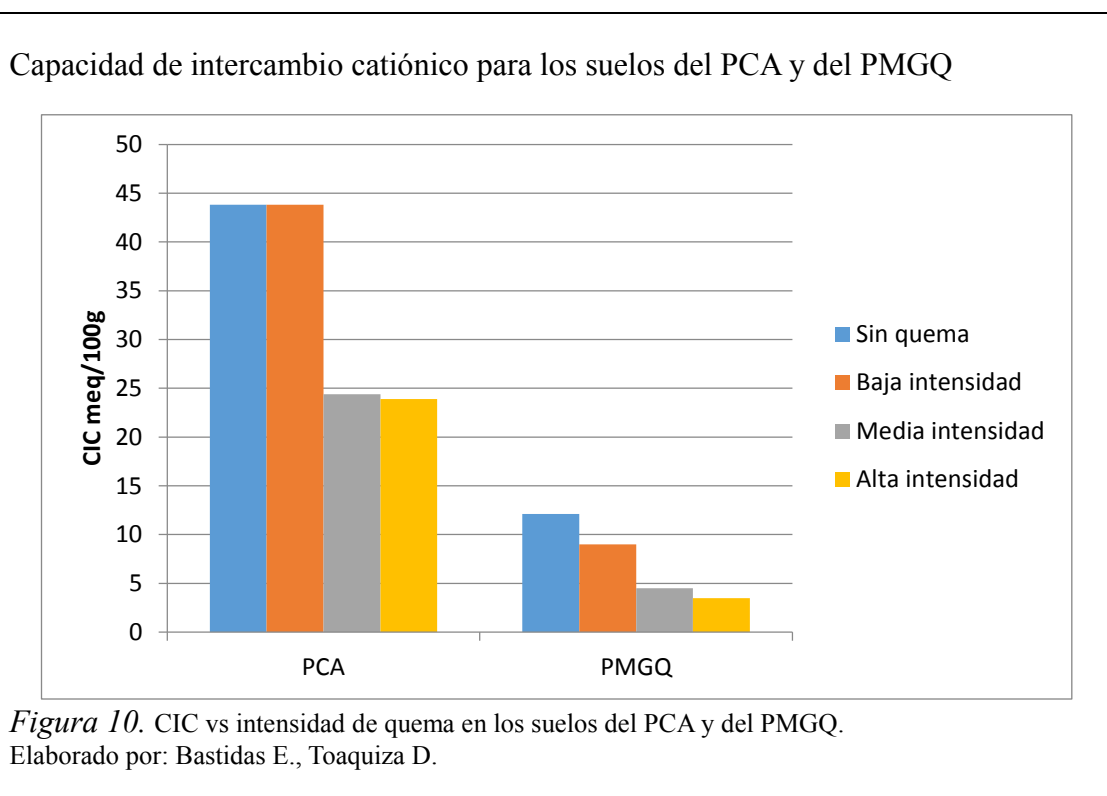
### 5.3.2.6. Capacidad de intercambio catiónico CIC.

Tabla 24.

*Capacidad de intercambio catiónico y desviación estándar para el suelo de PCA y el PMGQ*

Tratamiento	PCA		PMGQ	
	meq/100g	STD±	meq/100g	STD±
<b>SQ</b>	43,8	0,02	12,1	0,12
<b>BI</b>	43,8	0,04	9	0,02
<b>MI</b>	24,4	0,02	4,5	0,02
<b>AI</b>	23,9	0,02	3,5	0,03

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.





Relación de la CIC y la MO.

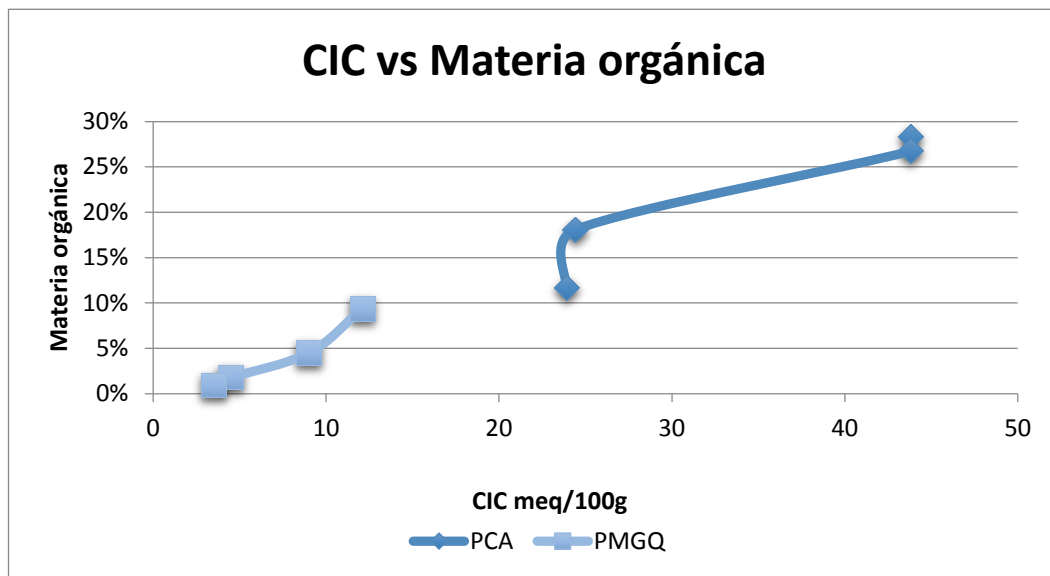


Figura 11. CIC vs MO en los suelos del PCA y PMGQ.

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Los datos obtenidos de la CIC de las muestras testigo como de las muestras sometidas a tratamientos térmicos mantienen relación directa con los datos obtenidos para la materia orgánica, debido a la disminución de estos dos parámetros al aumentar la temperatura.

La disminución más significativa de C.I.C se da a baja intensidad, debido a la correlación que se tiene entre la materia orgánica, la cual se pierde al superar los 100°C, indicada para baja intensidad (Cerde et al., 2012).

Relación de la CIC y el pH.

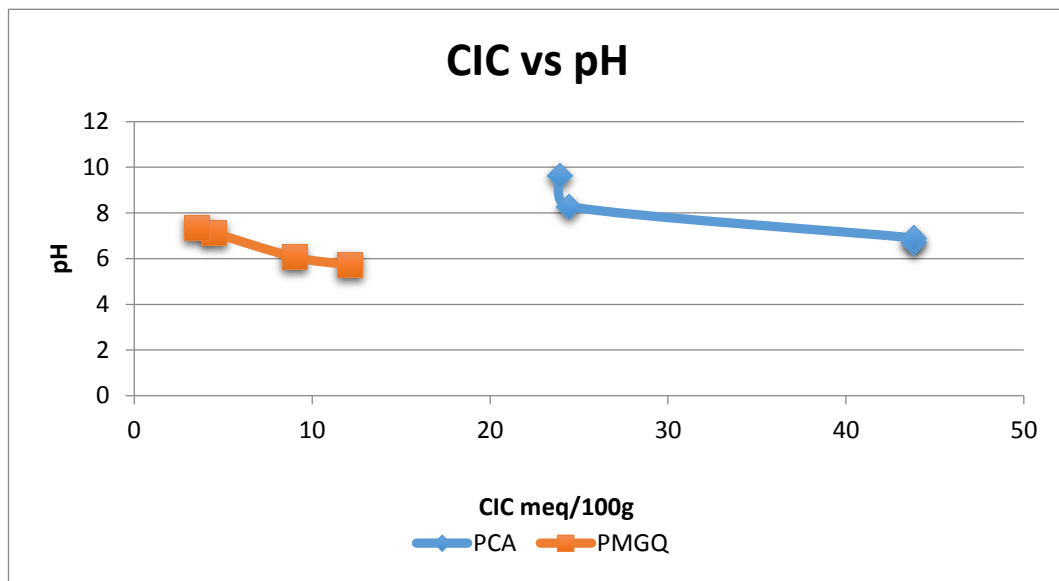


Figura 12. CIC vs pH del suelo del PCA y del PMGQ.

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Las reacciones del suelo son fundamentales en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, es por ello que el cambio de pH del suelo determina la participación dentro del complejo de cambio de los metales, es decir al aumentar la carga negativa del suelo o a mayor pH, disminuye la participación de intercambio de potasio.

La distribución de las bases cambiables y del Al y Mn depende también del pH. A mayor acidez, mayor es la participación de Al y Mn dentro del complejo de cambio y menor la participación de las bases (Ca, Mg, K, Na). (Rodríguez, 2002, p.255)

Después de pasar por tratamientos térmicos las muestras de suelo cambia los dos parámetros textura y pH, por lo tanto la concentración de cobre en las muestras de suelo, al incrementar el pH se incrementa la concentración del metal. “En el caso de las arcillas, la adsorción se incrementa a medida que el pH se eleva” (Sierra, 2016). Los suelos al tener en su textura una porción de arcillas esta ayudan a que el cobre sea retenido en mayor proporción.

Relación de la CIC y la concentración del ión cobre.

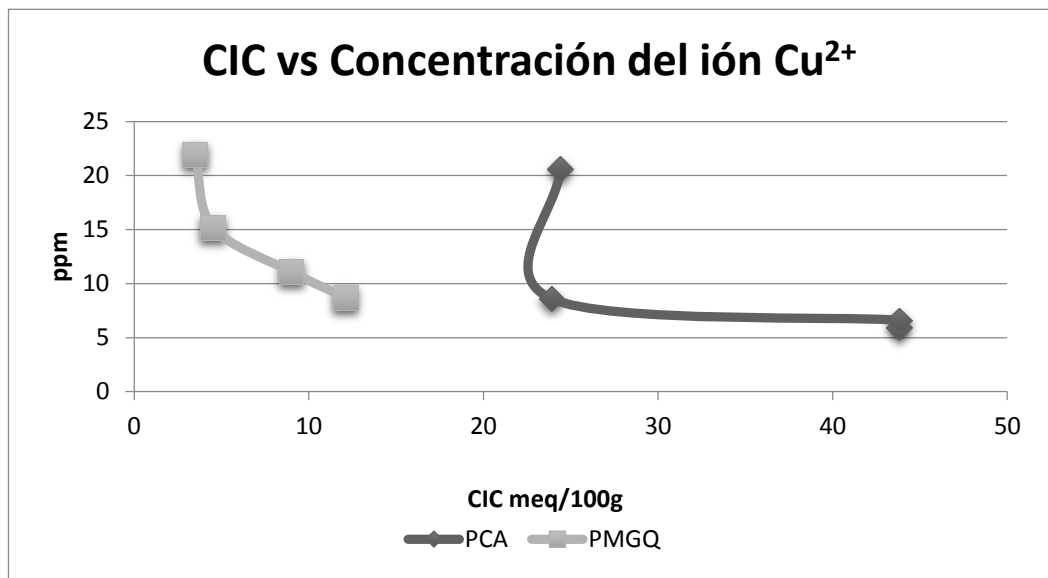
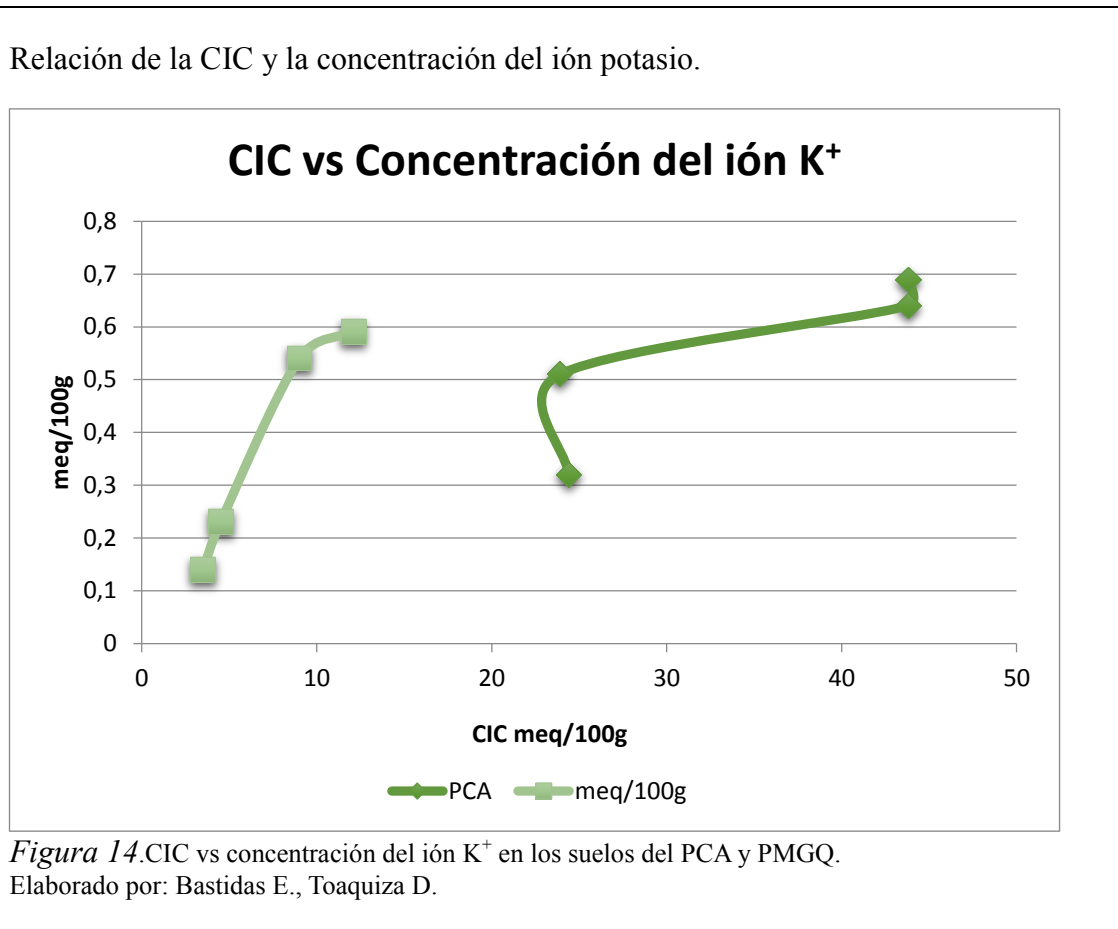


Figura 13. CIC vs concentración del ión Cu<sup>2+</sup> en los suelos del PCA y PMGQ. Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

El cobre es el micronutrientes más asimilables por el suelo por formar enlaces covalentes fuertes. El cobre se presenta en el suelo como ión o de formas más complejas, la concentración de cobre en el suelo mantiene valores altos en comparación con los demás nutrientes metálicos debido a su potencial de ionización, pero para mantener este equilibrio depende de parámetros como pH y textura. “En suelos de condiciones de pH más alcalinos y texturas arenosas y franco arenosas, el nivel de equilibrio y, por lo tanto, la concentración de cobre en la solución serán bajos” (Sierra, 2016). Los datos obtenidos experimentalmente en el trabajo mantienen relación con la revisión bibliográfica ya que al aumentar la intensidad de quema en los suelos el pH aumenta y la CIC disminuye en los dos tipos de suelos, pero se debe tomar en cuenta también la textura de los suelos, es por ello que en el suelo del PMGQ al mantener una textura similar el pH es el factor determinante en la disminución de la CIC, por otro lado el suelo del PCA el comportamiento de textura

y pH son diferentes los valores de la CIC muestran otro comportamiento, sin embargo el factor determinante en el descenso de la CIC sigue siendo el pH.



Los cationes al no poder ser retenidos en el suelo son arrastrados por las primeras lluvias después de un incendio o como lixiviado hacia otros horizontes. Solera & Guerrero (2007) afirma. “El resultado final será, probablemente, un empobrecimiento del suelo ya que, aunque existan más nutrientes en la disolución, como decimos, habrá disminuido la capacidad de mantener reservas de los mismos” (p.17).

### 5.3.3. Correlación de los parámetros por el método de Pearson.

Mediante la estimación de la correlación de Pearson podremos cuantificar el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Si el valor de la correlación es igual a 1 o -1 la covariación es de intensidad máxima, y si los

valores se aproximan a 0, indica menor intensidad de la covariación. Además, el índice tiene signo positivo cuando la covariación es directa y negativo cuando es inversa.

### 5.3.3.1. Correlación para el PCA.

Tabla 25.

*Correlación de Pearson para los parámetros del PCA.*

Parámetros	pH	CE	MO	CO	CIC	Cu <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	° T
pH	1,00							
CE	-0,99	1,00						
MO	-1,00	0,98	1,00					
CO	-1,00	0,98	1,00	1,00				
CIC	-0,92	0,86	0,95	0,95	1,00			
Cu <sup>2+</sup>	0,93	-0,96	-0,90	-0,90	-0,71	1,00		
K <sup>+</sup>	-1,00	1,00	0,99	0,99	0,88	-0,95	1,00	
° T	0,97	-1,00	-0,95	-0,95	-0,75	0,99	-0,99	1,00

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

En base a los datos de la tabla 25 se puede inferir que en el suelo del PCA entre el pH vs (CE, MO, CO, CIC y K<sup>+</sup>), existe una correlación inversa de -0.99, -1.00, -1.00, -0.92, y -1.00 respectivamente para cada parámetro analizado, en el caso del Cu<sup>2+</sup> existe una correlación directa que corresponde a 0,93. Para la CIC vs (CE, MO, CO y K<sup>+</sup>), existiendo una correlación directa de 0.86, 0.95, 0.95 y 0.88 respectivamente para cada parámetro analizado, en el caso del Cu<sup>2+</sup> existe una correlación inversa que corresponde a -0,71.

### 5.3.3.2. Correlación para el PMGQ.

Tabla 26.

*Correlación de Pearson para los parámetros del suelo del PMGQ*

Parámetros	pH	CE	MO	CO	CIC	Cu <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	° T
pH	1,00							
CE	-0,83	1,00						
MO	-0,93	0,98	1,00					
CO	-0,93	0,98	1,00	1,00				
CIC	-0,99	0,90	0,97	0,97	1,00			
Cu <sup>2+</sup>	0,93	-0,75	-0,86	-0,86	-0,92	1,00		
K <sup>+</sup>	-1,00	0,78	0,89	0,89	0,97	-0,94	1,00	
° T	0,83	-0,75	-0,86	-0,86	-0,83	0,99	-0,85	1,00

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

Se observa la misma tendencia en el PMGQ entre el pH vs (CE, MO, CO, CIC, y  $K^+$ ), existe una correlación inversa de -0.83, -0.93, -0.93, -0.93, -0.99 y -1.00 respectivamente para cada parámetro analizado, en el caso del  $Cu^{2+}$  existe una correlación directa que corresponde a 0,93. Pudiendo evidenciar lo contrario en el caso de la CIC vs (CE, MO, CO, y  $K^+$ ), existiendo una correlación directa de 0.90; 0,99; 0.99; y 0.51 respectivamente para cada parámetro analizado, en el caso del  $Cu^{2+}$  existe una correlación inversa que corresponde a -0,92.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES

- La metodología de Cerda y Jordán (2010) es aplicable y adaptable para la simulación de incendios forestales de distintas intensidades, mediante modificaciones de acuerdo a las necesidades requeridas en el estudio.
- Con la investigación se infiere que el suelo del Páramos Conservado del Antisana y el suelo del Parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito, presentan cambios en sus propiedades fisicoquímicas al ser expuestos a la simulación de incendios forestales de alta, media y baja intensidad, se evidencia una correlación inversa entre el tratamiento térmico (Temperatura) y los parámetros de CE, MO, CO, CIC y concentración del ión  $K^+$ .
- La acción del fuego directamente sobre el suelo, provoca la reducción en los porcentajes de materia orgánica, esto indica un descenso de la capacidad de intercambio catiónico con una correlación directa a dicha reducción, en los suelos del PCA el  $R^2$  obtenido es del 0,89 y en el PMGQ el  $R^2$  obtenido corresponde a 0,95.
- El suelo sufre descenso en la capacidad de sorción, representada por la CIC, el impacto depende de la intensidad del incendio forestal, en los incendios de baja intensidad presenta cambios poco significativos al contrario de los incendios de alta intensidad donde las propiedades del suelo se ven afectadas de manera significativa.

## CAPÍTULO 7

### BIBLIOGRAFÍA

- Fernández Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldán Carrillo, T. G., Ramírez Islas, M. E., Zegarra Martínez, H. G., Uribe Hernández, R., . . . Arce Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados* (Primera ed.). DF, México: Deporte Mexicano.
- Calderón, F., & Pavlova, M. (2008). *Metodologías para Análisis Químico de Suelos*. Retrieved 01 12, 2017, from [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#9](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm#9)
- Cerdá, A., Solera, J. M., & Doerr, S. (2012). Efecto de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca Mediterránea: Revisión Bibliográfica. *Asociación de Geógrafos Españoles*, 37.
- Cerdá, A., & Jordán, A. (2010). *Actualización en Métodos y Técnicas para el Estudio de los Suelos Afectados por Incendios Forestales*. Valencia: Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València. FUEGORED.
- Cerdá, A., & Solera, J. (2009). *Efecto de los Incendios Forestales sobre los Suelos en España*. Valencia: FUEGORED.
- INCA, I. N. (2010). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Habana, Cuba: Ediciones INCA.
- INEN, I. E. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, finos y gruesos. *NTE INEN 0696*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- IUSS Grupo de trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. FAO. Roma.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *INDESIA*, 50.
- Molina, E. (2002). Análisis de suelo y su interpretación. *Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica*, p. 6.
- Natural Resource Conservation Service Soli, N. (2017). *Soil Texture Calculator*.
- NRCSS, N. R. (2017). *Soil Texture Calculator*. Obtenido de [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)
- Radojevic, M., & Bashkin, V. (2006). *Practical Environmental Analysis* (Second ed.). India: The Royal Society of Chemistry.



- Razmilic, B. (s.f.). *Espectroscopia de absorción atómica*. Obtenido de Depósito de documentos de la FAO:  
<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S04.htm>
- Ritzema, H. (2006). *drainage principles and applications*. Wageningen: ILRI Publication no.16.
- Rodríguez , O., & Rodríguez, A. (2002). Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio. *Revista de la Facultad de Agronomía Revicyhluz*, 255.
- Rucks, L., García, F., Kapitán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. *Universidad de la Republica: Facultad de agronomía*. Obtenido de  
<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sierra, C. (08 de septiembre de 2016). *El Mercurio* . Obtenido de Campo:  
<http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/03/29/Una-mirada-a-la-relacion-entre-el-cobre-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Torres, J. G., Zavala, L. M., Crocci, N. B., & López, A. J. (2010). Acidez y capacidad de intercambio catiónico en los suelos afectados por incendios. Métodos de determinación e interpretación de resultados. En *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales* (pág. 334). Valencia: Cátedra Divulgación de la Ciencia.
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 42.
- Úbeda, X., & Salas, M. (1996). Cambios en la física del suelo e incremento de la escorrentía y la erosión tras un incendio forestal. *IV Reunión de Geomorfología*, 559-572.
- Universidad de Chile. (s.f). *Pregrado en Ciencias de la Tierra*. Obtenido de [mct.dgf.uchile.cl](http://mct.dgf.uchile.cl)
- Varela, M. (2007). *Efecto de los incendios forestales en la degradación física de los suelos de Galicia*. Galicia : Universidad de Vigo.
- Velasco, A., & Úbeda, X. (2014). Estabilidad de los agregados de un suelo quemado a diferentes intensidades de fuego dieciocho años después de un incendio forestal. *Cuadernos de investigación geográfica*, 334, 335.
- Zapata Hernández, R. D. (2004). *La química de la acidez del suelo*. Medellín: SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO.

## CAPÍTULO 8

### ANEXOS

#### Anexo 1. Fotografías de recolección de muestras de suelo en el Páramo Conservado Antisana y en el Parque metropolitano Guanguiltagua de Quito



A. Recolección de muestras del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito



B. Recolección de muestras del Páramo Conservado Antisana

**Anexo 2. Método de quema experimental, simulando incendios forestales de baja, media y alta intensidad en las muestras de suelo**



A. Lectura de pesos de muestras pre quema



B. Pre calentamiento del horno eléctrico a 1000°C



C. Quema de muestras de suelo



D. Medición de temperatura del suelo después de la quema

**Anexo 3. Análisis de propiedades físico – químicas**  
**Humedad**



A. Medición de muestras húmedas



B. Secado de muestras



C. Medición de muestras secas



## Potencial de hidrógeno

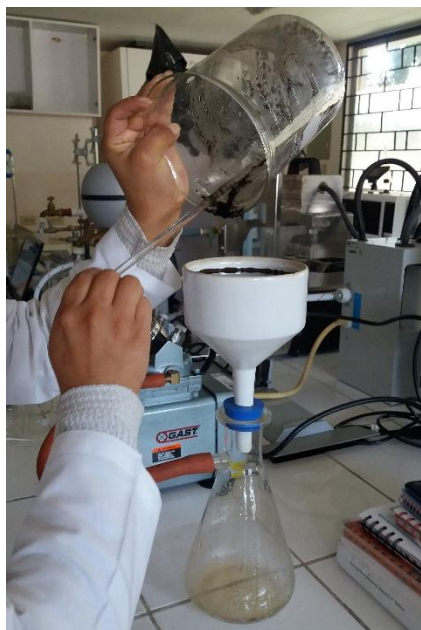


D. Medición del potencial Hidrogeno



E. Lectura de datos de potencial Hidrogeno

## Conductividad eléctrica



F. Filtración al vacío



G. Lectura de conductividad eléctrica

## Materia Orgánica



H. Preparación de muestras para titulación



I. Preparación de muestras para titulación, ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )



J. Titulación de muestras



K. Muestras después de la titulación

## TEXTURA



L. Método de tamizado



M. Lectura de pesos según tamaño de grano



#### Anexo 4. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico



A. Pesaje del reactivo Acetato de Amonio ( $C_2H_7NO_2$ )



B. Pesaje de muestras de suelo para CIC



C. Preparación de muestras para centrifugar



D. Centrifugación de muestras a 2500 rpm





E. Muestras después de la centrifugación



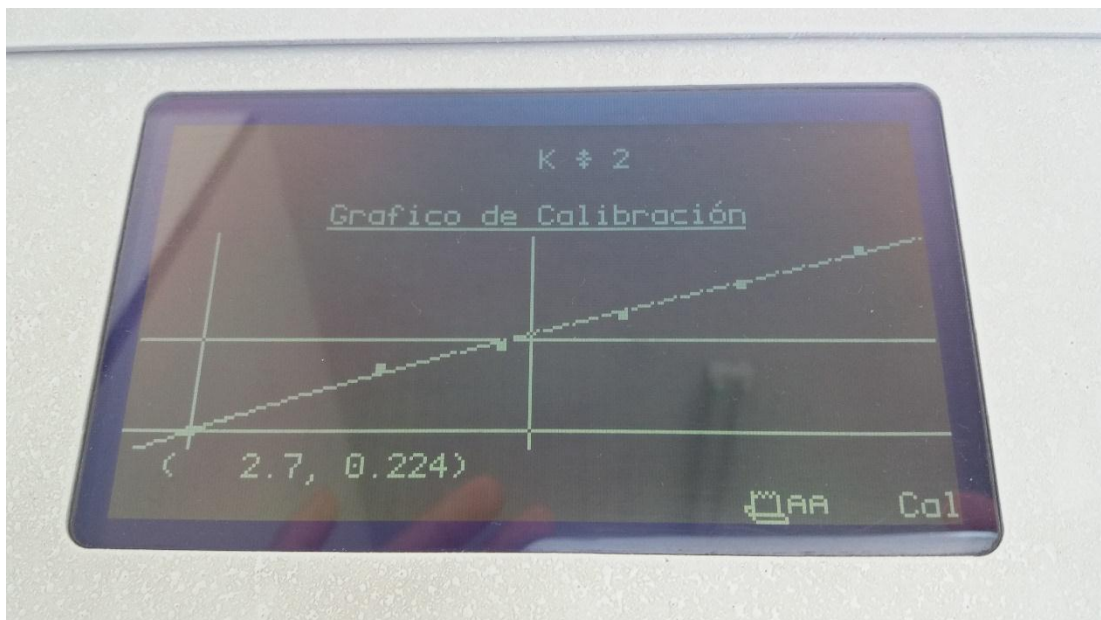
F. Preparación de soluciones para CIC



G. Preparación de estándares de metales intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ )



H. Espectrofotómetro de absorción atómica de llama



I. Curvas de Calibración para mediciones de CIC de metales intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ )

Anexo 5. Curvas de calibración de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mag<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup>, obtenidas para la determinación de la CIC y determinar los cationes de cambio y saturación del complejo de cambio.

A. Curva de calibración Na<sup>+</sup>

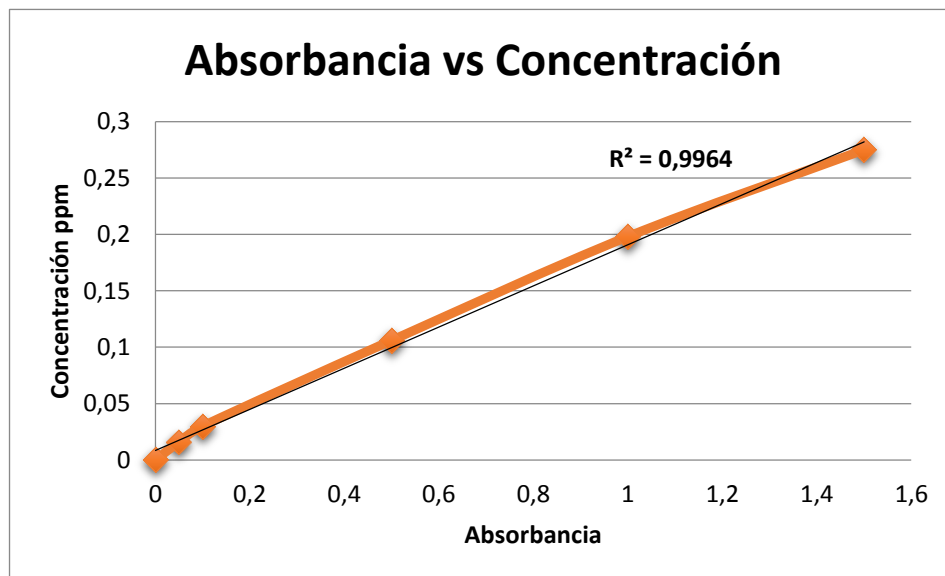


Figura 15. Curva de calibración de Sodio para determinar la CIC.  
Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

B. Curva de calibración K<sup>+</sup>

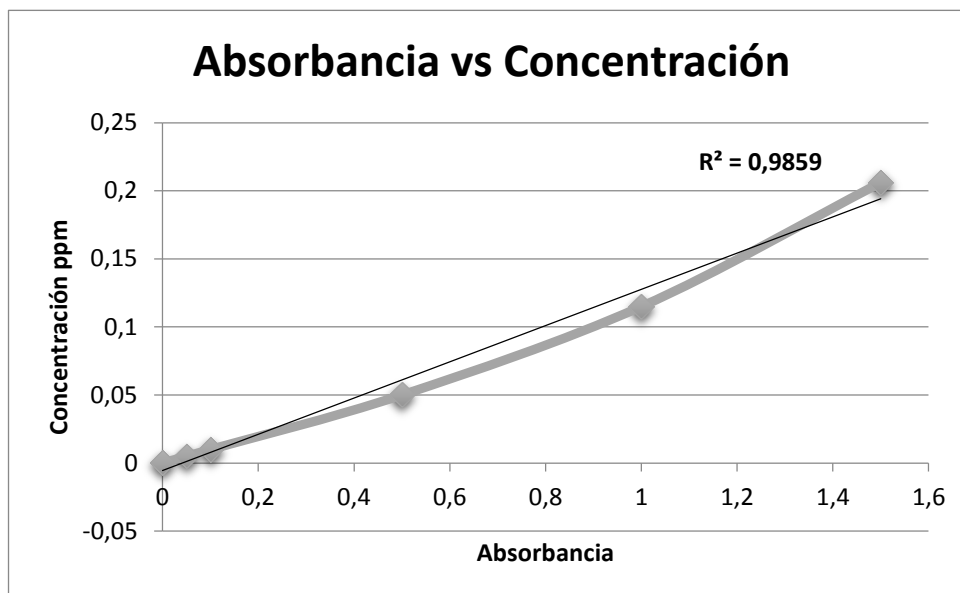


Figura 16. Curva de calibración de Potasio para determinar la CIC.  
Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

C. Curva de calibración  $Mg^{2+}$

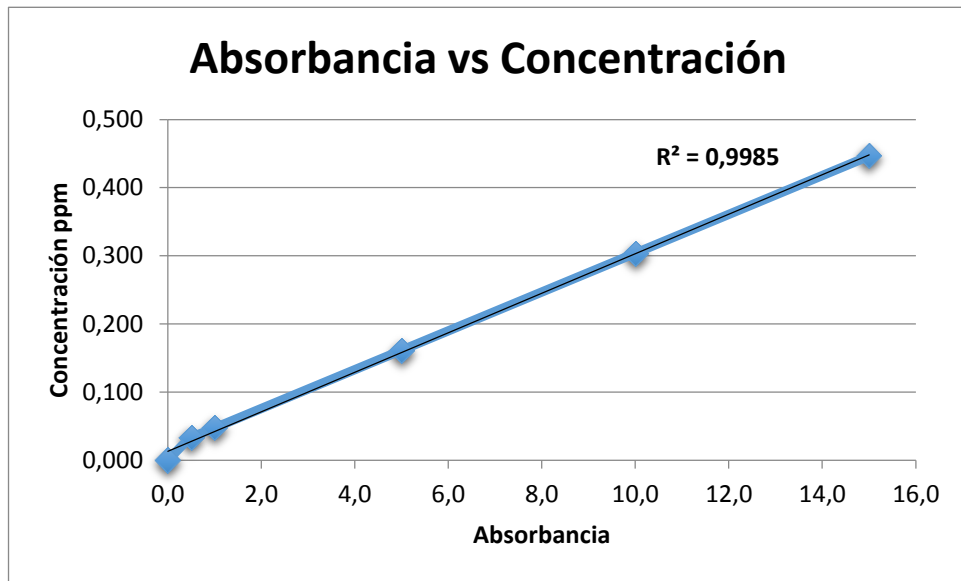


Figura 17. Curva de calibración de Magnesio para determinar la CIC.  
Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

D. Curva de calibración  $Ca^{2+}$

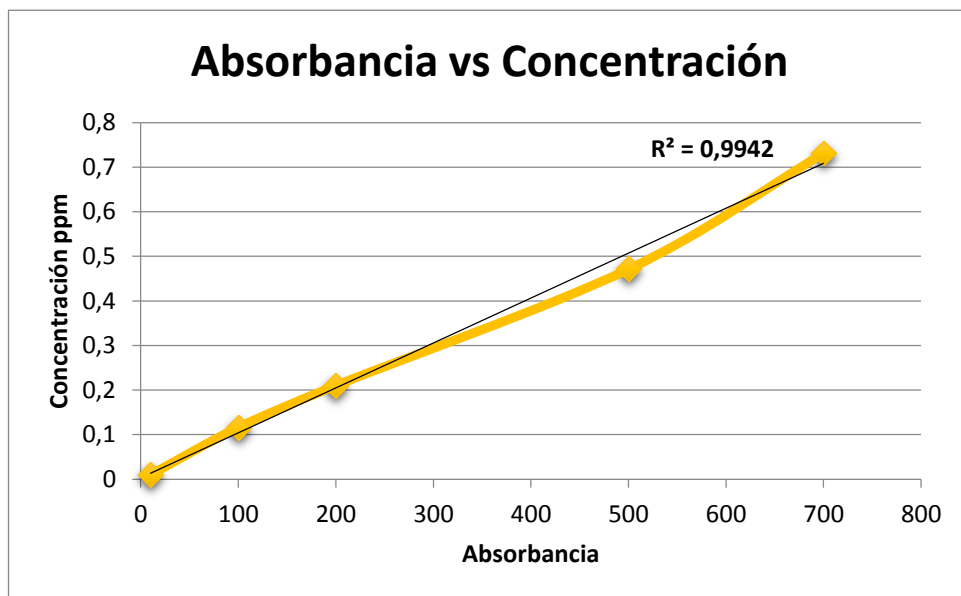
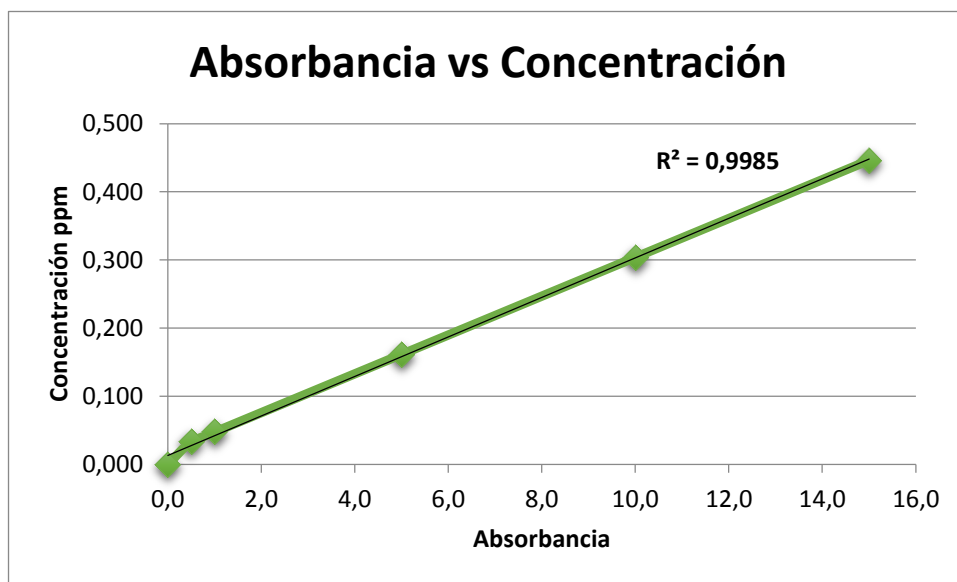


Figura 18. Curva de calibración de Calcio para determinar la CIC.  
Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

**Anexo 6. Curvas de calibración de sodio y cobre obtenidas para determinar la concentración de los mismos.**

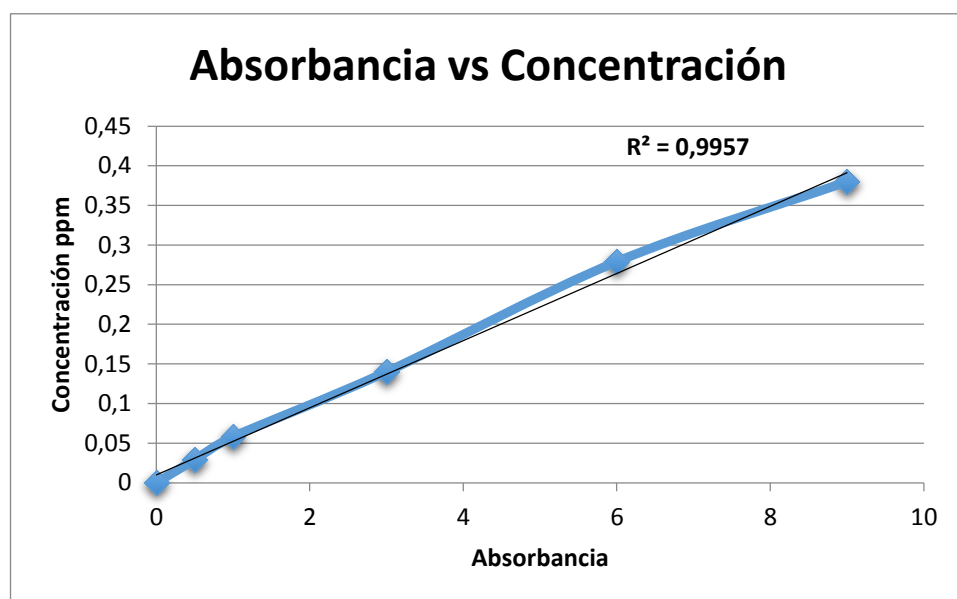
A. Curva de calibración  $Mg^{2+}$



*Figura 19.* Curva de calibración de Magnésio para determinar su concentración.

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.

B. Curva de calibración  $Cu^{2+}$



*Figura 20.* Curva de calibración de Cobre para determinar su concentración.

Elaborado por: Bastidas E., Toaquiza D.