

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS AMBIENTALES**

**TEMA:
DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO PARA QUEMAS EXPERIMENTALES
SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES CON DIFERENTES INTENSIDADES, EN
SUELOS EXTRAÍDOS DE LAS ZONAS: PARQUE METROPOLITANO
"GUANGÜILTAGUA", "CERRO UNGÜÍ Y PÁRAMO DE PAQUIESTANCIA -
CAYAMBE", A NIVEL DE LABORATORIO**

**AUTORES:
LUIS FERNANDO MENA LOJAN
ALAN ARIEL ORTEGA AVILÉS**

**TUTOR:
CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA**

Quito, marzo del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Luis Fernando Mena Lojan con documento de identificación N° 171912501-3 y Alan Ariel Ortega Avilés con documento de identificación N° 172175677-1, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO PARA QUEMAS EXPERIMENTALES SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES CON DIFERENTES INTENSIDADES, EN SUELOS EXTRAÍDOS DE LAS ZONAS: PARQUE METROPOLITANO "GUANGÜILTAGUA", "CERRO UNGÜÍ Y PÁRAMO DE PAQUIESTANCIA - CAYAMBE", A NIVEL DE LABORATORIO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Luis Fernando Mena Lojan
171912501-3



Alan Ariel Ortega Avilés
172175677-1

Marzo, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DETERMINACIÓN DEL PROTOCOLO PARA QUEMAS EXPERIMENTALES SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES CON DIFERENTES INTENSIDADES, EN SUELOS EXTRAÍDOS DE LAS ZONAS: PARQUE METROPOLITANO "GUANGÜILTAGUA", "CERRO UNGÜI Y PÁRAMO DE PAQUIESTANCIA - CAYAMBE", A NIVEL DE LABORATORIO** realizado por Luis Fernando Mena Lojan y Alan Ariel Ortega Avilés, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2020



Carlos Andrés Ulloa Vaca

1716457971

DEDICATORIA

A Dios, pues a pesar de que en algún momento dudé de él la vida me enseñó que existe, agradezco las infinitas bendiciones que me ha otorgado a lo largo de mi vida.

A mis padres Javier y Jaqueline sin su amor, apoyo y consejos no hubiera alcanzado este sueño, a mis hermanos Xavier y en especial a Andrés que es no solo un amigo si no un docente extra que siempre confió en mí y en mis capacidades, sin su carácter y cálidas palabras no podría haber superado los obstáculos que la universidad me presentó, a mis abuelitos que criaron a grandes hijos, en especial a mi abuelito Eliseo Ortega que logró sacar de la pobreza a mi amado padre y tíos, sé que desde el cielo me apoya y cuidada.

Finalmente, a mis amigos de la niñez y universidad que con el paso de los años se volvieron familia, especialmente a Joel y a David a quien agradezco tanto su apoyo pues cuando mi familia y yo necesitábamos ayuda ellos estuvieron ahí.

Alan

A toda mi familia que siempre está a mi lado, especialmente a mi abuelito y abuelita que me enseñaron todos los valores que tengo en especial el de apoyar a los que necesiten, a mi hermana, mi hermano, mi padre y mi madre que han pasado en todo momento cuidándome, aconsejándome, exigiéndome, educándome y apoyándome en mis estudios, a mi hijo y novia que me alegran los días y ha cambiado mi vida por eso los quiero mucho, a todas las personas que me ayudaron a cuidar de él, a mis amigos y amigas de escuela, colegio y universidad que a pesar del tiempo seguimos juntos, apoyándonos en las buenas y malas, una mención especial a mis amigos del barrio con los que tenemos tantas historias juntos, a todos los profesores que he tenido en escuela, colegio y universidad, pues he aprendido mucho gracias a ellos , no solo en lo académico sino también de sus historias de vida y su forma de pensar que han logrado hacerme ver las cosas de manera diferente, finalmente a todo el personal que conforma la universidad que nos ayudaron en todo el transcurso de la carrera.

Luis Fernando

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por forjarnos como buenos profesionales y personas de bien.

A nuestro tutor del trabajo experimental Bioquímico Carlos Ulloa, maestro y amigo, persona de gran sabiduría quien siempre se esforzó por ayudarnos a culminar uno de nuestros más grandes logros.

A todos los profesores que fueron parte de nuestra formación en la carrera de Ingeniería Ambiental, porque dejaron en nuestras vidas grandes conocimientos, consejos y enseñanzas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo General	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. 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 del suelo	7
3.3.2 pH (Potencial de Hidrógeno).....	7
3.3.5. Micronutrientes	8
3.3.6. Macronutrientes.....	9
3.3.6.1. Nitrógeno (N)	10
3.3.6.2. Fósforo (P).....	10
3.3.6.3. Potasio (K).....	10
3.3.6.4. Calcio (Ca)	10
3.3.6.5. Cobre (Cu).....	11
3.3.6.6. Hierro (Fe).....	11
3.3.6.7. Magnesio (Mg).....	11
3.3.6.8. Manganeso (Mn)	12
3.3.6.9. Zinc (Zn).....	12
3.3.7. Clasificación de los suelos	12
3.3.8 Orden de los suelos en los lugares de estudio	13
3.3.9 Impacto ambiental de suelos quemados	14
3.3.10 Límites maximos permisibles según la normativa ecuatoriana	15
4. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1 Área de estudio.....	16
4.2. Materiales	18
4.2.1 Materiales para la toma de muestras	18
4.2.2. Materiales para la simulación térmica.....	18
4.2.3. Materiales para la clasificación de la textura.....	19
4.3. Métodos.....	19

4.3.1. Diseño experimental.....	19
4.3.1.1. Tipo de diseño experimental	19
4.3.2. Método de muestreo en campo.....	20
4.3.3. Método para el tratamiento térmico	21
4.3.4 Método para la clasificación de la textura del suelo.....	23
4.3.5 Método para la determinación de la humedad.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1 Recolección de datos	26
5.2 Análisis y discusión de los datos	26
5.3 Presentación de datos	26
5.3.1 Tratamiento térmico	26
5.3.2 Propiedades fisicoquímicas	29
5.3.2.1 Humedad de los suelos de estudio.....	29
5.3.2.2 Potencial de Hidrógeno	30
5.3.2.3 Materia Orgánica.....	33
5.3.2.4 Nitrógeno.....	35
5.3.2.5 Fosforo.....	38
5.3.2.6 Potasio	41
5.3.2.7 Calcio.....	44
5.3.2.8 Cobre	46
5.3.2.9 Hierro.....	49
5.3.2.10 Magnesio	51
5.3.2.11 Manganeso.....	53
5.3.2.12 Zinc.....	56
5.3.3 Clasificación Textural	59
5.3.4 Correlación de los elementos estudiados por el método de correlación lineal de Pearson.	63
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1. Conclusiones	67
6.2. Recomendaciones.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA.....	70
8. ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas y altura de las diferentes áreas de muestreo	3
Tabla 2. Órdenes del suelo.	13
Tabla 3 Materiales y equipos para el muestreo en campo.	18
Tabla 4 Materiales y equipos para el muestreo en campo.	19
Tabla 5 Materiales y equipos para la clasificación de la textura	19
Tabla 6 Disposición de los tratamientos.....	20
Tabla 7 Modificaciones realizadas en los distintos tratamientos para el cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito (PMGQ).	23
Tabla 8. Tratamiento térmico y desviación estándar de la pérdida de sustrato y temperatura de la simulación de incendios a nivel de laboratorio.	26
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del % de pérdida de sustrato, para el tratamiento térmico de cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito (PMGQ).....	27
Tabla 10. Análisis de la prueba de Tukey (5%) del % de pérdida de sustrato para cada tratamiento térmico a nivel de laboratorio.....	28
Tabla 11. Porcentaje de humedad para los suelos de cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito (PMGQ).....	29
Tabla 12. Desviación estándar con su potencial de hidrógeno vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.....	30
Tabla 13. Análisis de varianza ANOVA del pH, para el tratamiento térmico del Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	32
Tabla 14. Prueba de Tukey (5%) del pH para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	32
Tabla 15. Desviación estándar para el % de MO vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	33
Tabla 16. Análisis de varianza ANOVA de MO, para el tratamiento térmico de PMGQ, CU, PP.....	35
Tabla 17. Prueba de Tukey (5%) del pH para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	35
Tabla 18. Desviación estándar para el % de N vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	36
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) del % de N, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.....	37
Tabla 20. Prueba de Tukey (5%) del % de N para las muestras de suelo Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	38
Tabla 21. Desviación estándar para el P vs muestra para los suelos de suelo Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	38
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) del P, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	40
Tabla 23. Prueba de Tukey (5%) del P para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	40
Tabla 24. Desviación estándar para el K vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	41
Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) del K, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	42
Tabla 26. Prueba de Tukey (5%) del K para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	43
Tabla 27. Desviación estándar para el Ca vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	44

Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del Ca para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	45
Tabla 29. Prueba de Tukey (5%) del Ca para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	46
Tabla 30. Desviación estándar para el Cu vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	46
Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) del Cu para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	48
Tabla 32. Prueba de Tukey (5%) del Cu para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	48
Tabla 33. Desviación estándar para el Fe vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	49
Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) del Fe para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	50
Tabla 35. Prueba de Tukey (5%) del Cu para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	51
Tabla 36. Desviación estándar para el Mg vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	51
Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) del Mg para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.....	52
Tabla 38. Prueba de Tukey (5%) del Mg para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	53
Tabla 39. Desviación estándar para el Mn vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	54
Tabla 40. Análisis de varianza (ANOVA) del Mn para el tratamiento térmico de PMGQ, CU, PP. Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.....	55
Tabla 41. Prueba de Tukey (5%) del Mn para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	55
Tabla 42. Desviación estándar para el Zn vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	56
Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del Zn para el tratamiento térmico Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	58
Tabla 44. Prueba de Tukey (5%) del Zn para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.	58
Tabla 45. Textura, porcentajes de arena, arcilla, limo y desviación estándar para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.....	59
Tabla 46. Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito con respecto a la intensidad.	61
Tabla 47. Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Cerro Ungüí con respecto a la intensidad.	61
Tabla 48. Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Páramo de Paquiestancia – Cayambe con respecto a la intensidad.....	62
Tabla 49. Método de correlación de Pearson de los parámetros del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ) con respecto a la intensidad.	63
Tabla 50. Método de correlación de Pearson de los parámetros del cerro Ungüí con respecto a la intensidad.	64
Tabla 51. Método de correlación de Pearson de los parámetros del Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP) con respecto a la intensidad.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de muestreo en el CU. Ubicación del área de muestreo en el CU.....	15
Figura 2. Área de muestreo en el PP.	17
Figura 3. Área de muestreo en el PMGQ.	18
Figura 4. Intensidad alcanzada por las muestras vs % pérdida de sustrato.	27
Figura 5. Porcentaje de humedad presente en los suelos de PMGQ, CU y PP.	29
Figura 6. pH vs muestras de suelo.....	31
Figura 7. Materia orgánica vs muestras de suelo.	34
Figura 8. % de N vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.	36
Figura 9. P vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.	39
Figura 10. K vs muestras de suelo de PMGQ, CU y PP.	42
Figura 11. Ca vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	44
Figura 12. Cu vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	47
Figura 13. Fe vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	50
Figura 14. Mg vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	52
Figura 15. Mn vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	54
Figura 16. Zn vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	57
Figura 17. % de arena vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	60
Figura 18. % de limo vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	60
Figura 19. % de arcilla vs muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.....	61

RESUMEN

La presente investigación propone determinar el comportamiento a nivel experimental de muestras de suelo extraídas de tres zonas de la provincia de Pichincha: Cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia Cayambe, y el Parque Metropolitano Guanguiltagua, luego de haber sido expuestas a temperaturas que simulan incendios forestales de alta, media y baja intensidad. Un total de 27 muestras de suelo se dispusieron dentro de una mufla y fueron expuestas a 130 °C, 500 °C y 700 °C durante tres tiempos diferentes, variando así la metodología de Cerdá & Jordán (2010), la cual estudia el comportamiento de suelos de España a nivel experimental. El principal cambio que se propone para que las muestras lleguen a IB, IM e IA es utilizar los siguientes tiempos, para Ungüí 299 segundos para alcanzar la IA, 138 segundos para IM y 30 segundos para IB, las muestras del suelo proveniente de Paquiestancia alcanzan la IA en 305 segundos, en 173 segundos la IM y 25 segundos la IB, finalmente los suelos extraídos de Guanguiltagua alcanzan la IA en 260 segundos, la IM en 159 segundos y la BI en 20 segundos.

Varios parámetros fueron analizados para determinar el cambio ocasionado luego de la simulación, encontrándose que los valores de nitrógeno decrecen al ser sometidos al tratamiento térmico, el pH tiende a volverse alcalino, la materia orgánica disminuye, los de más parámetros analizados presentan un incremento como consecuencia de los incendios forestales.

ABSTRACT

This research has the purpose to determine the experimental behavior of soil samples extracted from three areas of the province of Pichincha: Ungüí Hill, Paquiestancia Cayambe Moorland and Metropolitan Guanguiltagua Park, after being exposed to temperatures that simulate forest fires from high, medium and low intensity. A total of 27 soil samples were placed inside a flask and were exposed to 130 °C, 500 °C y 700 °C during three different times, modifying the methodology of Cerdá & Jordán (2010), which studies the behavior of Spanish soil at the experimental level. The main change proposed for the samples to reach LI, MI and HI is to use the following times, for Ungüí Hill 299 seconds to reach HI, 138 seconds for MI and 30 seconds for LI, the sample soil from Paquiestancia Cayambe reach HI in 305 seconds, in 173 reach MI and 25 seconds to reach LI, finally the soils from Guanguiltagua Park reach HI in 206 seconds, 159 seconds to reach MI and 20 seconds to reach LI.

Several parameters were analyzed to determine the change produced after the simulation, founding that the values of nitrogen decrease when subjected to heat treatment, the pH tends to become alkaline, the organic matter decreases, the other parameters analyzed show an increase as a result of forest fires.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas forestales son vitales para la vida en este planeta, estas son partes imprescindibles para la captura o secuestro de dióxido de carbono, distribución de agua, regular la humedad y temperatura, liberar oxígeno, proveer alimentos, medicina y madera a la sociedad entre otros.

La relación que existe entre los ecosistemas forestales y el cambio climático es sumamente importante, los bosques por su lado capturan y almacenan gran cantidad de bióxido de carbono removiendo y almacenando el carbono al tiempo que liberan oxígeno a la atmósfera. Según la FAO Sala de Prensa (2006), en los árboles el carbono representa aproximadamente el 20% de su peso vivo. Por otro lado, el cambio climático afecta directamente los ecosistemas forestales, un ejemplo de esto es la presencia de eventos climáticos extremos, así como fuertes precipitaciones o climas extremadamente secos junto con variaciones anómalas de temperatura que afectan la funcionalidad y vitalidad de los bosques. Tomando en cuenta esta información es de vital importancia la protección, reforestación, prevención y la correcta gestión de este recurso.

El fuego juega un papel importante para algunos ecosistemas, “por lo cual la ocurrencia de incendios forestales en muchas partes del mundo responde a comportamientos climáticos y a la susceptibilidad natural o adaptación de la vegetación a la ignición y la inflamabilidad, especialmente en períodos de sequedad” (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003, pág. 44).

Los incendios que ocurren de manera natural conforman un desarrollo vital y esencial para los procesos de sucesión ecológica, estos permiten la reducción de competencia por maleza, ayudan al mantenimiento de la estabilidad al interior de los ecosistemas, mejoran el

control de enfermedades presentes en las plantas y en algunos casos mejoran la incorporación o liberación de nutrientes.

Ramos (2019), periodista del diario Universo afirma que son 62.000 las hectáreas que han sido consumidas gracias a los incendios forestales desde el 2012 hasta el 2018 y que el 99% de estos incendios forestales son producidos por el hombre. Tomando en cuenta esto, el 21 de abril de 2017 se dio inicio al Programa Amazonia sin Fuego, cuyo fin es reducir la incidencia de los incendios forestales en las regiones Costa y Sierra del país. Este programa tiene su origen en Brasil bajo la gestión del Instituto Brasileño de Medio Ambiente entre 1999 y 2010 con el apoyo financiero y la asistencia técnica del Gobierno de Italia, ya que los resultados fueron altamente exitosos en cuanto a la reducción de los incendios en este país, en el 2011 el programa arranco una fase previa en Bolivia llegando luego al Ecuador.

El principal factor para la ocurrencia de un incendio forestal es que aún se sigue realizando quemas agrícolas con el fin de mejorar la calidad del suelo, práctica que en muchos países ya se ha ido eliminando debido a las alteraciones provocadas, en países como México esta práctica ya no es usada, en el 2005 el gobierno de la Provincia de Tucumán Argentina sancionó una disposición legal en contra de esta práctica (Biaggi & Valeiro, 2011).

La necesidad de la determinación de un protocolo para quemas experimentales a nivel de laboratorio simulando incendios forestales se hace cada vez más necesaria debido a que los incendios forestales son una de las principales consecuencias del cambio climático, además que el país no cuenta con la suficiente información bibliográfica sobre cuál es la metodología más apropiada y cuáles son los principales factores fisicoquímicos que se afectan después de someter a distintos suelos a las diferentes temperaturas. Investigaciones como la de Ulloa, Pazmiño, Cárdenas , & Arcos (2014), sobre la repelencia al agua y como esta se ve afectada luego de un incendio forestal en el Parque Metropolitano Guangüiltagua y

Bastidas & Toaquiza (2017) en la cual ya se reporta como otros parámetros se ven afectados luego de un incendio forestal, sirven como punto de partida a la investigación propuesta.

Las muestras de suelos que serán analizadas son tomadas de 3 sitios. La primera muestra pertenece al Cerro Ungüí (CU), un estribo del volcán Rucu Pichincha ubicado en el suroccidente de la capital en el sector de Chilibulo. La segunda muestra de suelo se recolectó del Páramo de Paquiestancia (PP), una comunidad rural ubicado en la Parroquia Ayora, Cantón Cayambe en la provincia de Pichincha y finalmente la última muestra fue tomada en el Parque Metropolitano Guangüiltagua (PMGQ) ubicado en la zona norte del cantón Quito en la Parroquia Ñaquito.

El trabajo experimental de simulación de incendios tuvo lugar en el laboratorio de Aguas Residuales que es parte de la Universidad Politécnica Salesiana -Campus Sur, ubicada en la parroquia de Chillogallo, provincia de Pichincha en el cantón Quito, La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD) se encargó de realizar los siguientes análisis: materia orgánica, pH, fósforo, potasio, calcio, hierro, manganeso, cobre, zinc, nitrógeno, magnesio.

En la siguiente tabla se detalla la delimitación geográfica de las áreas de muestreo junta con la altura en relación con el nivel del mar, se detalla además que las coordenadas del polígono fueron tomadas con un GPS, Datum WGS84 en la zona 17 S.

Tabla 1.

Coordenadas y altura de las diferentes áreas de muestreo

ÁREAS DE ESTUDIO	LONGITUD (m)	LATITUD (m)	ALTURA (msnm)
Cerro Ungüí	772380,852 W	9973438,455 S	3191
	772379,738 W	9973436,242 S	3191
	772377,510 W	9973435,136 S	3195
	772380,852 W	9973438,455 S	3191
Páramo de	825193,585 W	0007859,019 N	3335

Paquiestancia – Cayambe	825175,757 W	0007870,086 N	3352
	825186,900 W	0007859,019 N	3350
	825193,585 W	0007859,019 N	3335
	782963,161 W	9980832,785 S	2951
Parque Metropolitano Guangüiltagua	782963,161 W	9980828,359 S	2947
	782963,161 W	9980828,359 S	2948
	782963,161 W	9980832,785 S	2951

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

2. OBJETIVOS

Una vez determinado el problema del estudio se procedió a crear los objetivos que guiarán el siguiente trabajo experimental.

2.1 Objetivo General

- Determinar el protocolo para quemas experimentales simulando incendios forestales con diferentes intensidades, a nivel de laboratorio.

2.2 Objetivos Específicos

- Convenir el protocolo de simulación validando la pérdida de sustrato en muestras de las zonas de estudio.
- Determinar el efecto causado por los incendios forestales en las propiedades físicas y químicas de los suelos de las diferentes localidades.
- Establecer diferencias y similitudes de los niveles de afectación de los incendios forestales entre los suelos de las diferentes localidades.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Incendios forestales

Los incendios forestales pueden definirse como el fuego que se propaga sin control en un sistema forestal y cuya quema no cumple funciones ni objetivos de gestión, por lo que requiere trabajos de extinción. Es un suceso no deseado en el que se producen una serie de consecuencias económicas y ecológicas calificadas como daños y perjuicios. (Salas & Cocero, 2004, pág. 6)

Varios factores pueden desatar un incendio forestal, pero los más representativos son: combustible, oxígeno y calor de ignición, dependiendo de las características propias de los ecosistemas, el tipo de vegetación y el suelo presente.

3.2. Tipos de intensidades de un incendio forestal

La temperatura alcanzada en la superficie del suelo, así como la penetración del calor en profundidad, depende de la naturaleza del material quemado, condiciones climáticas como velocidad, dirección del viento y temperatura del aire, así como de la duración del incendio (Tothhill & Shaw, 1968).

Estas intensidades se determinan por la temperatura a la que se alcanza en un incendio forestal y se clasifican de la siguiente manera:

3.2.1. Incendios de baja intensidad

Estos incendios presentan el menor índice de afección en los ecosistemas, las distintas propiedades del suelo no se ven muy alteradas en estos incendios, “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.” (Neary, Klopatek, Debano, & Ffolliott, 1999, pág. 37)

Los rangos de temperatura de los incendios de baja intensidad están 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 “desaparición de la materia orgánica, el incremento de pH en el suelo y la pérdida de nitrógeno hasta en un 75%” (Úbeda X. , 2001).

3.2.3. Incendios de alta intensidad

En 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 del suelo

Representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arcilla, limo y arena. Cuando el suelo posee una correcta textura existe una correcta habilidad de retener agua, materia orgánica, etc., permitiendo así favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

3.3.2 pH (Potencial de Hidrógeno)

El potencial de hidrógeno es una medida básica para obtener la acidez o alcalinidad de un producto.

El pH cuando ocurre un incendio forestal tiende a volverse alcalino por la producción de cenizas que contienen cationes de K, Mg, Ca, Si y P y por la eliminación de los ácidos orgánicos presentes en el suelo (Rosero Cuesta & Osorio Giraldo, 2013).

A su vez De las Heras, Herranz, & Martínez (1991) aseguran que el incremento del pH en incendios forestales produce cenizas, lo que ocasiona una gran cantidad de carbonato potásico, sales procedentes de ácidos débiles y bases fuertes que en reacciones básicas se hidroliza.

3.3.4. *Materia Orgánica*

Es un elemento que contiene gran cantidad de carbono y un factor estructural estabilizador, es importante pues ayuda a mantener la actividad biológica del suelo y las partículas de minerales unidas cuando empieza el humedecimiento del suelo e impacto de gotas de lluvia, también llamadas fuerzas desestabilizadoras.

La materia orgánica se perturba cuando existe un rango de temperatura entre 100 °C y 500 °C, mientras más alta es la temperatura mayor cantidad de materia orgánica es la afectada, pero a partir de los 450 °C es en donde ya se comienza a notar un cambio drástico de carbono orgánico. La calidad es otro factor que se modifica porque acelera las tasas de mineralización junto con las tasas de descomposición; el humus sufre modificaciones que le hacen más resistente a la degradación microbiana como resultado del incremento de la temperatura (Cerdà, Merche, & Mataix-Solera, 2012, pág. 44).

3.3.5. *Micronutrientes*

Según Torri, Urricariet, & Lavado (2016) los micronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción vegetal, cada uno de los distintos

micronutrientes contribuye a una función diferente, el exceso o la carencia de un micronutriente en el suelo puede significar la pérdida total o parcial en un cultivo, bosque, etc.

3.3.6. *Macronutrientes*

Son elementos que los organismos requieren en gran cantidad para tener un correcto funcionamiento pues son los que suministran energía, el crecimiento y supervivencia de la vegetación, habitualmente se conforman por elementos primarios como el N, P y K y secundarios o micronutrientes como el Ca, Mg y S.

Según De las Heras, Herranz, & Martínez (1991) los cationes de cambio (K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , etc.) presentan un incremento notorio tras el incendio como consecuencia directa de la disminución del intercambio catiónico del suelo al destruirse parte de la materia orgánica del mismo.

3.3.6.1. Nitrógeno (N). Este es el elemento más afectado en los incendios forestales principalmente a los 2 centímetros de la capa superior del suelo, pues el nitrógeno se transforma en su gran mayoría en N_2 y en formas más complicadas al volatilizarse y al oxidarse. Se pierde hasta un 30% a una temperatura aproximada de 200 °C y un 75% a una temperatura de 450°C.

3.3.6.2. Fósforo (P). El fósforo puede experimentar incrementos de hasta 5 a 10 veces sus valores iniciales, siendo también el componente que mantiene el aumento durante más tiempo (hasta 2 años después de un incendio forestal). Esta información es corroborada también por Wani (2015), en la conclusión de su investigación afirma que el fósforo disponible en los suelos quemados aumenta.

3.3.6.3. Potasio (K). Es un macronutriente para las plantas, sirve para activar enzimas las cuales actúan en procesos metabólicos como fotosíntesis, fructificación, calidad de frutos, maduración y el crecimiento de la vegetación. Tras el incendio el potasio experimenta incrementos de hasta 4 veces sus valores iniciales, sin embargo, estos incrementos desaparecen rápidamente (De las Heras, Herranz, & Martínez, 1991).

3.3.6.4. Calcio (Ca). El calcio es el quinto elemento más abundante, González Parra, Fernández Bermejo, & Iglesias López (1993) mencionan que algunos elementos entre ellos el calcio tienden a un incremento después de un incendio forestal esto se debe a que la suma de bases es mayor en los suelos impactados por un incendio, aumentan en superficie los cationes divalentes principalmente el Ca^{+2} respecto a los monovalentes debido a que estos son más solubles.

3.3.6.5. Cobre (Cu). Este micronutriente se encarga de activar las enzimas, así como también de catalizar las reacciones en varios procesos de crecimiento del cultivo. Según Bastidas & Toaquiza (2017), los tratamientos térmicos incrementan el pH y a su vez la concentración de este metal.

3.3.6.6. Hierro (Fe). El hierro es fundamental para el crecimiento de los cultivos y para la producción de alimentos, es un constituyente de varias enzimas responsables de la transferencia de energía y fijación de nitrógeno, como afirman Gil, Zavala, Bellinfante, & Jordán (2010) “otros micronutrientes que pueden ser liberados en grandes cantidades durante el fuego y cuya disponibilidad puede verse afectada en gran manera por el incremento del pH son el hierro o el cobre” (pág. 332).

3.3.6.7. Magnesio (Mg). Este es un nutriente vital para las plantas pues cumple varias funciones en ellas, el rol más importante que desempeña es la fotosíntesis ya que es un componente básico de la clorofila.

Ortega & Rodríguez (2007) afirman que después de haber ocurrido un incendio los valores de nutrientes asimilables como el magnesio se incrementa, esta información es también corroborada por Pérez, López, & Vela, (2007) ellos aseguran que algunos cationes de intercambio entre ellos el magnesio incrementa su valor.

3.3.6.8. Manganeso (Mn). Este puede encontrarse en diversas formas en el suelo, se encarga de la activación varias reacciones metabólicas importantes y desempeña una función directa en la fotosíntesis. La respiración y la asimilación de nitrógeno. Cerdà , Merche, & Mataix-Solera (2012), aseguran que el aporte de cenizas producto de un tratamiento térmico enriquece el suelo con un aumento de nutrientes tales como (Ca, Mn, K, Na, P).

3.3.6.9. Zinc (Zn). La funcionalidad y estructura de muchas enzimas dependen de la presencia de zinc en las plantas, este es esencial para obtener un elevado rendimiento de cultivos, ya que este nutriente es requerido en el proceso de crecimiento y en la síntesis de proteínas.

Larios Bayona (2014) revisa el contenido promedio de varios suelos y luego los comprara con los valores después de incendios forestales, se evidencia que los valores de zinc después del incendio son mayores.

3.3.7. Clasificación de los suelos

Para la clasificación del suelo se usará el Sistema Norteamericano del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la última edición de este sistema fue publicada en el año 2014.

Este sistema comprende seis categorías que abarcan desde lo general a lo particular siendo estas: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie (Soil Survey Staff, 2014). Esta investigación se enfocará principalmente en la categoría más general de los nombres de los suelos denominado orden.

Tabla 2.*Órdenes del suelo.*

Orden	Características
Alfisolos	Suelos jóvenes que pertenecen al horizonte B arcilloso.
Andisolos	Ubicados en los relieves de las vertientes externas de la cordillera occidental.
Aridisolos	Suelos secos con acumulaciones de sales, yeso y otros carbonatos.
Entisolos	Diferenciación de horizontes casi nula, no existe distinción climática: aluviones, desiertos de arena, suelos helados.
Histosoles	Suelos y depósitos orgánicos, sin distinciones climáticas.
Inceptisolos	Suelo con flojo desarrollo de horizontes; volcánicos y suelos de tundra.
Molisolos	Suelos formados en áreas semiáridas a semihúmedas de zonas de pradera en climas templados; rico en materia orgánica.
Oxisol	Suelos tropicales y subtropicales, intensamente meteorizados y presentan un suelo enriquecido en arcilla.
Ultisolos	Suelos de zonas húmedas templadas a tropicales de bajo porcentaje de saturación.
Vertisolos	Suelos formados por arcillas; propios de zonas subhúmedas con hidratación y expansión, cuya característica es que en seco se agrietan.

Nota. Recuperado de Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales por Soil Survey Staff. (2014).

3.3.8 Orden de los suelos en los lugares de estudio

El cantón Quito donde se encuentra el cerro Ungüí y el Parque Metropolitano Guanguiltagua ocupa un total de 421 083,68 hectáreas; en el estudio realizado por el INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO (2013), se menciona que en este cantón predomina ampliamente suelos del orden Andisol con un 40,21 %, seguidos de los Molisolos con 17,23 %, el orden Inceptisolos que ocupa 6,79 %, los Entisolos ocupan un 4,30 %, el 14,68 % corresponde a áreas urbanas y ríos, los bosques de vegetación protectora ocupan el 13,31%, el 2,99 % es parte del patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE) por último el 0,49 % lo ocupan tierras misceláneas que según Santiago Garnica (2005) son “aquellas tierras que por sus características físico-naturales se consideran económicamente improductivas, desde el punto de vista agrícola. Comprende tierras con elevada erosión, taludes y afloramientos rocosos.” (pág. 72)

El cantón Cayambe donde se encuentra el Páramo de Paquiestancia ocupa 119 946,03 hectáreas de superficie intervenida; Según el INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO (2013) existe un amplio predominio de suelos del orden de los Molisoles con 32,07 %, seguidos de los Andisoles con 24,69 %, Entisoles con 3,76 %, Inceptisoles que se encuentran en menor proporción con 1,88 %, los valores restantes son el 35,64 % que pertenece a zonas de patrimonio cultural, el 1.64% pertenecen a zonas de expansión urbana y ríos , finalmente el 0.32 % que pertenece a bosques protectores.

3.3.9 Impacto ambiental de suelos quemados

González Ulibarry (2017) comenta que los impactos sobre el suelo están estrechamente relacionados con la intensidad, duración y recurrencia del incendio.

Las principales alteraciones se ven reflejadas en la productividad del suelo junto con los parámetros físicos, químicos y biológicos. En resumen, se tiene los cambios en el pH, modificación de la estructura del suelo, alteración o pérdida de nutrientes, riesgo de erosión, pérdida o disminución de materia orgánica y alteración de la vegetación.

Una vez que el suelo ha sido expuesto a un incendio el pH tiende a aumentar debido al aporte de bases de las cenizas procedentes de la incineración de la vegetación, en cuanto a la estructura del suelo esta se degrada agravando la erosión y disminuyendo la fertilidad, llevando a los suelos a un nivel de pobreza nutritiva reduciendo así la capacidad de absorción de CO_2 .

El contenido de nutrientes en general tiende a incrementarse en los primeros centímetros de la superficie del suelo afectado por el incendio esto se debe a la deposición de cenizas y la mineralización de nutrientes.

La materia orgánica se perturba, Fernández & Vega (2011) y Cerdà , Merche, & Mataix-Solera (2012) mencionan que a más temperatura mayor es el porcentaje de materia orgánica que se elimina y sobre los 450° C la combustión es casi total, finalmente la alteración de la vegetación es otra consecuencia de los incendios forestales (pág. 44).

3.3.10 Límites máximos permisibles según la normativa ecuatoriana

En el Ecuador se pueden encontrar los límites analíticos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), en el libro VI Anexo 2 se mencionan las normas de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Los criterios de calidad de algunos metales pesado se muestran en la tabla 2, el valor de fondo representativos para el cobre es de 30 mg/kg, mientras que para el zinc son de 60mg/kg.

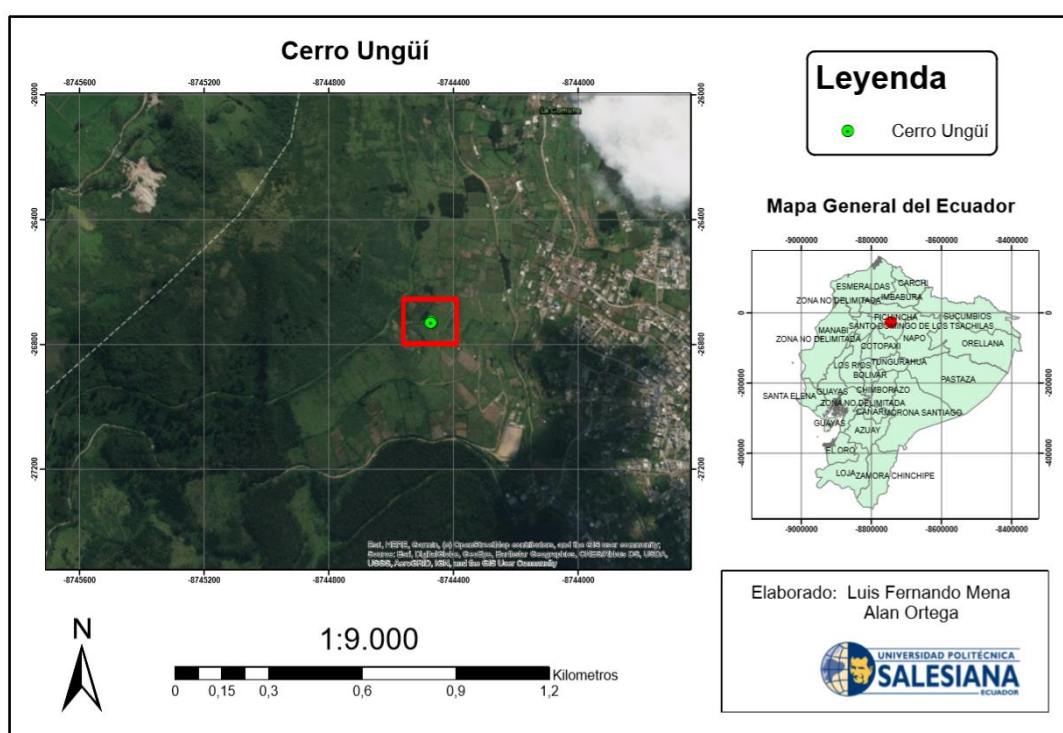
4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

Se determinó un área de estudio de $60 m^2$ para todos los lugares de estudio, para las representaciones gráficas de las distintas áreas de muestreo se utilizó el programa ArcGIS.

Figura 1

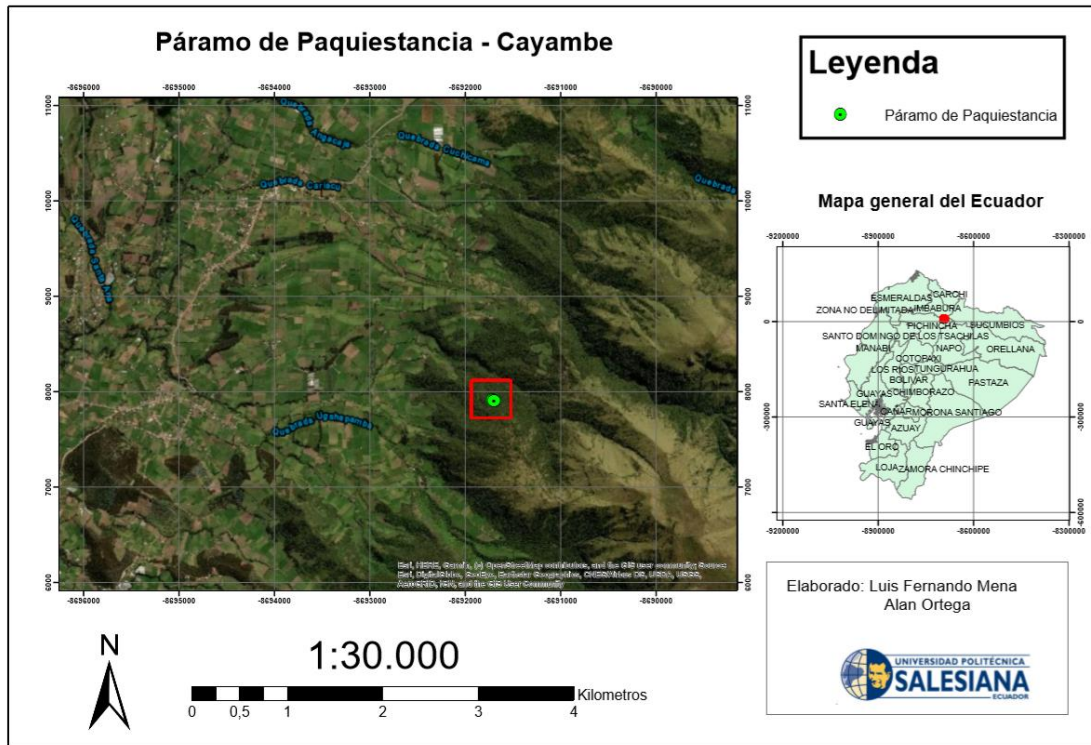
Ubicación del área de muestreo en el Cerro Ungüí.



Nota. En la figura 1 se muestra la ubicación del Cerro Ungüí y fue georreferenciada por Google Earth.
Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 2

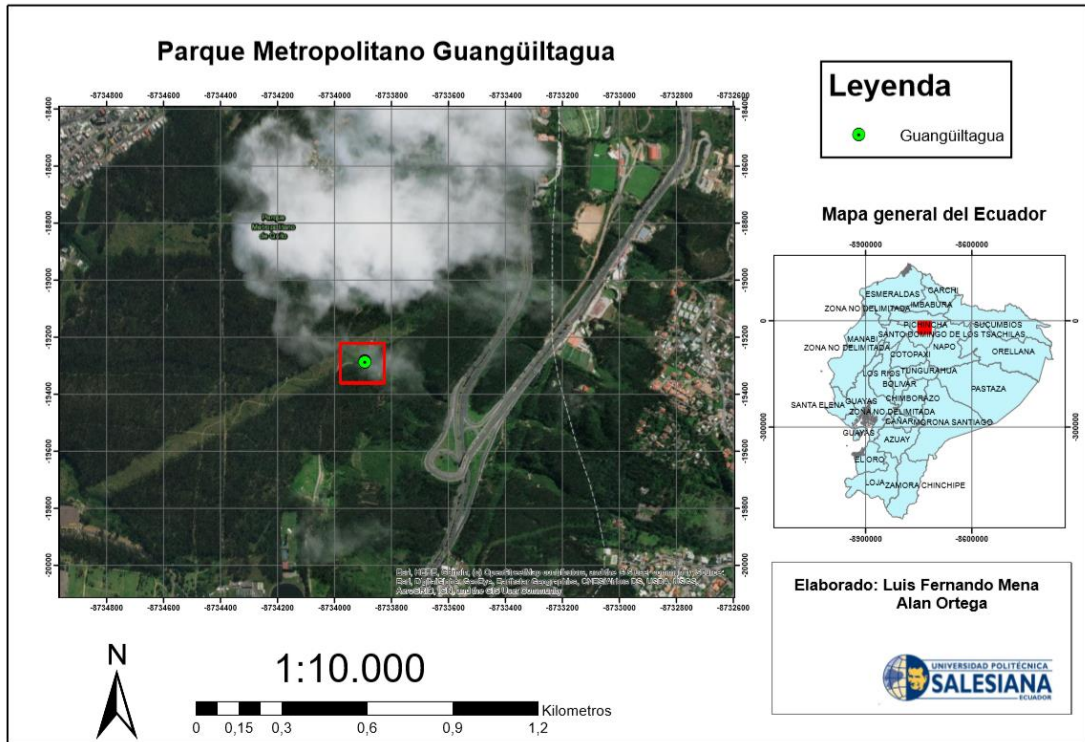
Área de muestreo en el Páramo de Paquiestancia



Nota. En la figura 2, se presenta la ubicación del Páramo de Paquiestancia y su área de muestreo, la altura de la zona de muestreo en promedio es de 3830 msnm y fue georreferencia en Google Earth.
Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 3

Área de muestreo en el Parque Metropolitano Guangiiltagua Quito.



Nota. En la figura 3, se encuentra el área de muestreo del Parque Metropolitano Guangiiltagua Quito y fue georreferenciada con Google Earth.
Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

4.2. Materiales

4.2.1 Materiales para la toma de muestras

Tabla 3

Materiales y equipos para el muestreo en campo.

Materiales	Equipos
Barreno de tubo	
Palas	
Costales limpios	
Membretes	
Baldes de 5 L	GPS
Fundas plásticas con cierre hermético	
Cooler de espuma poliestireno	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

4.2.2. Materiales para la simulación térmica

Tabla 4

Materiales y equipos para el muestreo en campo.

Materiales	Equipos
Cápsula de porcelana de 150 cm^3	Mufla
Crisoles de porcelana de 50 cm^3	
Pinza de laboratorio	Cronómetro
Desecador	
Guantes térmicos	Balanza
Espátula	analítica
	Termocupla

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

4.2.3. Materiales para la clasificación de la textura

Tabla 5

Materiales y equipos para la clasificación de la textura.

Materiales	Equipos
Brocha	Agitador de tamices mecánico
Vasos de precipitación	
Espátula	Balanza analítica
Serie de tamices	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A

4.3. Métodos

4.3.1. *Diseño experimental*

4.3.1.1. Tipo de diseño experimental. Para esta investigación se plantea el uso de un D.C.A. (Diseño Completamente al Azar) el cual va a estar conformado por tres tratamientos y un testigo, este diseño se aplica a los diferentes lugares donde se llevó a cabo la experimentación, el cerro Ungüí (CU), Páramo de Paquiestancia (PP) y el Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ).

Los tratamientos que se realizarán representan la quema del suelo a diferentes temperaturas para así simular incendios forestales de baja, media y alta intensidad mientras

que el suelo sin quemar representa el testigo que permitirá conocer las condiciones iniciales de los distintos lugares.

Tabla 6

Disposición de los tratamientos.

	TRATAMIENTO	Cerro Ungüí	Páramo de Paquiestancia	Parque Metropolitano Guanguiltagua
1	Sin Quemar	✓	✓	✓
2	Quema a Baja Intensidad	✓	✓	✓
3	Quema a Media Intensidad	✓	✓	✓
4	Quema a Alta Intensidad	✓	✓	✓

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

La presente investigación se ha realizado mediante la experimentación llevada a cabo por medio de ensayos en el laboratorio utilizando de una mufla precalentada en la cual se puede controlar las condiciones a las que se quiere llevar a las muestras de suelo.

Una vez obtenidos los parámetros físico químicos que se indicaron en el capítulo anterior, se procederá a la interpretación usando métodos estadísticos como la prueba estadística de Tukey, de Pearson y el análisis de varianza permitiendo así establecer las relaciones básicas que existen entre algunos estudios posteriormente realizados y el actual estudio.

4.3.2. Método de muestreo en campo

El método utilizado para la recolección de las muestras fue al azar, recogiendo muestras en forma de zigzag, la distancia entre puntos de muestro fue aproximadamente 10 metros. Se obtuvieron un total de 27 submuestras, siendo 9 muestras del cerro Ungüí (CU), 9 muestras del Páramo de Paquiestancia Cayambe (PP) y finalmente 9 muestras del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ), la unión de cada muestra conforma la muestra compuesta para cada lugar de estudio.

A continuación, se detalla proceso que se realizó para la toma de las distintas muestras:

1. Se retiró la cobertura vegetal con una pala metálica previamente lavada.
2. Se recolectó las submuestras en costales limpios 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 recipiente libre de residuos para obtener una muestra homogénea.
4. Una vez homogeneizado el suelo se procede a colocar en una bolsa plástica con cierre hermético 1 Kg de muestra, la que debe estar sellada y etiquetada correctamente.
5. Se realizó la identificación de la muestra con los siguientes datos: nombre de la persona a cargo de la muestra, lugar, fecha y hora, 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 muestras testigo Cerro Ungüí (CU), Páramo de Paquiestancia (PP) y Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ).

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

4.3.3. Método para el tratamiento térmico

Para este método se incineraron 675 muestras de aproximadamente 50g, y dependiendo la procedencia, y la intensidad de temperatura alcanzada, se reunió 1kg de muestra para el análisis físico químico que fue realizado en los laboratorios de AGROCALIDAD.

A continuación, se describe el *protocolo que se realizó para simular los incendios forestales*:

1. Para los análisis correspondientes, las muestras de suelo se aclimataron a las condiciones del laboratorio (20 °C y 44% de humedad promedio) durante 5 días. Estas fueron pesadas hasta obtener un peso constante.
2. En una cápsula de porcelana de 150 ml (9.7 cm de diámetro y 3.9 cm de altura) se introdujo 50 g de suelo previamente tamizado a 2 mm.
3. Se calentó el horno tipo mufla a una temperatura de 1000 °C.
4. Se depositaron las cápsulas de porcelana de manera individual dentro del horno precalentado sobre un trípode creado por 3 cápsulas de 50 ml invertidas, para evitar el contacto con el suelo del horno tipo mufla.
5. Las cápsulas se conservaron en el centro del horno tipo mufla para que no tengan contacto con las paredes incandescentes del equipo.
6. Posteriormente y con la ayuda de unos guantes que soporten altas temperaturas por la parte superior de la mufla se introdujo la termocupla durante la quema experimental en el centro de la muestra de suelo, teniendo en cuenta siempre una distancia con respecto a las paredes de la cápsula, observando la temperatura en la termocupla y cronometrando el tiempo en el que la muestra llega a las temperaturas necesarias para alcanzar cada intensidad deseada se procedió a registrar ambos valores, junto con el peso final e inicial de cada cápsula que salga del horno tipo mufla. La metodología que se sigue es la establecida por Cerdá & Jordán (2010) en las páginas 317-318, sin embargo, y como es objetivo de este trabajo se debieron hacer algunas modificaciones en relación al tiempo al que - según la procedencia e intensidad de temperatura requerida- fueron expuestas las muestras, esto se debe a las características intrínsecas

que tienen los suelos de estudio. Los tiempos y las temperaturas se describen en la tabla 9.

7. Pasado el tiempo apropiado para cada intensidad se retira la cápsula de porcelana, la que se coloca en un desecador, hasta que se enfríe, hasta acumular 1 kg de suelo quemado en una bolsa plástica hermética correctamente etiquetada que será enviada a los laboratorios de AGROCALIDAD para su análisis.

Tabla 7

Modificaciones realizadas en los distintos tratamientos para el cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ).

Suelo	Tratamiento	Tiempo [s]	Temperatura [°C]	Tiempo de la metodología usada [s]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IA	260	700	240
	IM	159	500	200
	IB	20	130	26
Cerro Ungüí	IA	299	700	240
	IM	138	500	200
	IB	30	130	26
Paquiestancia	IA	305	700	240
	IM	173	500	200
	IB	25	130	26

Nota. La metodología usada pertenece a Cerdá & Jordán (2010), las siglas IA, IM e IB significan Intensidad Alta, Intensidad Media e Intensidad Baja respectivamente.

4.3.4 Método para la clasificación de la textura del suelo

Para clasificar la textura del suelo se realizaron repeticiones en los cuatro tratamientos (testigo y 3 intensidades) del PMGQ, CU y PP. Las partículas que componen las muestras en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño mediante una serie de tamices de aberturas conocidas ordenadas en forma descendente. La diferencia de masas entre el tamiz lleno y vacío permite así conocer la distribución del tamaño de partículas (INEN, 2011, pág. 1).

1. Las distintas muestras de suelo fueran secadas al ambiente a una temperatura promedio de 22 °C durante 5 días. Una vez que el suelo este seco se tamiza en una malla de 2 mm.
2. Se pesó los tamices verificando que estén limpios y en buen estado.
3. Se seleccionó los tamices necesarios, los cuales fueron colocados en orden ascendente.
4. Se coloca 200 g de muestra sobre el primer tamiz, el agitador mecánico debe trabajar por 5 minutos.
5. Ya terminado el proceso mecánico se pesaron los tamices anotando los nuevos valores (Inca, 2010, págs. 3,4).

Cálculos:

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

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

4.3.5 Método para la determinación de la humedad

Para este parámetro se usó el método gravimétrico, las muestras fueron aclimatadas a la temperatura promedio del laboratorio (20°C), la humedad del suelo se calcula por la diferencia existente entre el peso de la muestra húmeda, y la muestra seca después de haber pasado por estufa hasta obtener un peso constante, se realizó 1 repetición para el PMGQ, CU y PP.

- 1) Se pesó 1 g de muestra sobre un papel aluminio.
- 2) Las muestras de suelo fueron introducida dentro de una estufa precalentada a 105 °C durante 24 horas.

- 3) Se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron dentro de un desecador para que se enfríen.
- 4) Se pesó la muestra incluyendo el papel aluminio, hasta obtener un peso constante.
- 5) Se calculó los porcentajes de humedad en el suelo por la diferencia de pesos (Fernández Linares, y otros, 2006, pág. 22).

Cálculos:

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

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

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Recolección de datos

Los datos fueron obtenidos después de someter las distintas muestras de suelo a las respectivas intensidades, dicha investigación tuvo lugar en la Universidad Politécnica Salesiana, campus sur, sede Quito, los datos finales de los parámetros fisicoquímicos fueron enviados desde los laboratorios de AGROCALIDAD ubicada en el sector de Tumbaco, Quito.

5.2 Análisis y discusión de los datos

Los datos adquiridos de los distintos procesos a nivel de laboratorio y repeticiones que se realizaron a los suelos del Cerro Ungüí, páramo de Paquiestancia – Cayambe y PMGQ, fueron sometidos a un análisis estadístico, con ayuda de Excel junto con el software InfoStat, para hallar la media, varianza, desviación, ANOVA y pruebas de Tukey (5%).

5.3 Presentación de datos

5.3.1 Tratamiento térmico

Tabla 8.

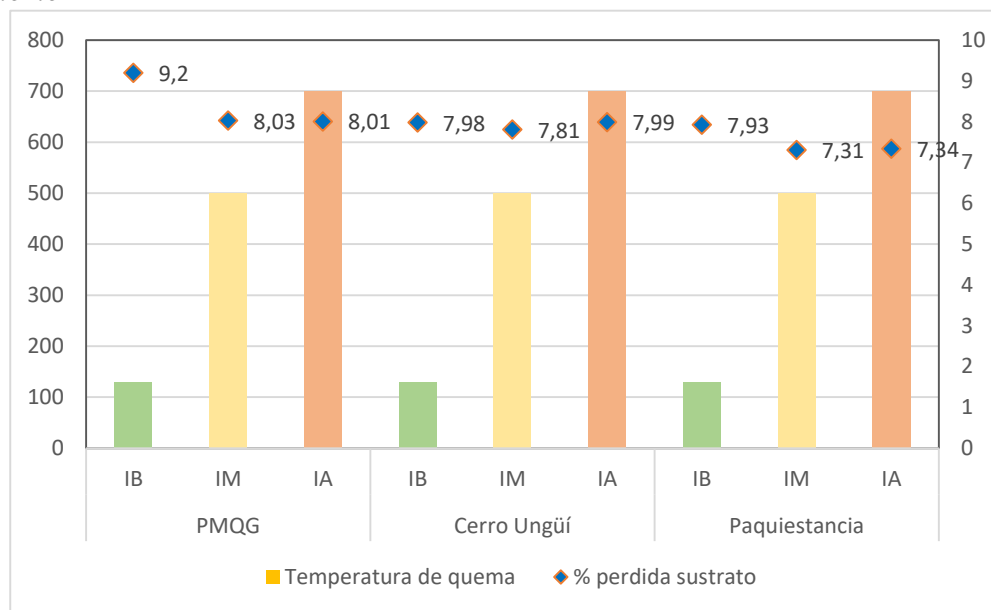
Tratamiento térmico y desviación estándar de la pérdida de sustrato y temperatura de la simulación de incendios a nivel de laboratorio.

	Intensidad de quema	Temperatura de quema	% Pérdida sustrato
Parque	IB	130	9,2
Metropolitano	IM	500	8,03
Guangüiltagua	IA	700	8,01
Cerro Ungüí	IB	130	7,98
	IM	500	7,81
	IA	700	7,99
Paquiestancia	IB	130	7,93
	IM	500	7,31
	IA	700	7,34

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 4

Temperatura vs % de pérdida de sustrato simulando incendios forestales a nivel de laboratorio



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Se observa en la figura 4, que el porcentaje de pérdida de sustrato tiene variaciones según el lugar en donde fue tomada la muestra de suelo, en el lugar en donde existe mayor pérdida de sustrato es en el PMQG, seguido del Cerro Ungüí y finalmente PP. Se observa que la mayor pérdida de sustrato se encuentra en la IB, a excepción del CU, que su mayor pérdida de sustrato está en IA.

Tabla 9.

Análisis de varianza (ANOVA) del % de pérdida de sustrato, para el tratamiento térmico de cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ).

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	0,0163	S	0,5482	NS	0,006	S
CV	13,77		6,77		6,86	

Nota. Las siglas CV hacen referencia al coeficiente de variación.

En los resultados obtenidos al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indican que en el tratamiento térmico del PMGQ se tiene ($p = <0,0163$) por lo tanto fue altamente significativo de igual forma el PP con un ($p = 0,006$), pues tienen un valor inferior al 5%, mientras que en el CU podemos observar un ($p = 0,5482$) en el cual ya se convierte en un tratamiento no significativo por lo que no existe una relación entre la muestra de suelo con su intensidad de quema.

Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 13,77% para el PMGQ, 6,77% para CU y 6,86% para el PP.

Tabla 10.

Análisis de la prueba de Tukey (5%) del % de pérdida de sustrato para cada tratamiento térmico a nivel de laboratorio.

	Intensidad de quema	Media	n	E. E	Rango
Parque	IB	9,25	12	0,43	A
Metropolitano	IM	8,03	12	0,43	B
Guangüiltagua	IA	7,96	12	0,43	B
Cerro Ungüí	IB	8,25	12	0,16	A
	IM	8,08	12	0,16	A
	IA	8,01	12	0,16	A
Paquiestancia	IB	8,02	12	0,15	A
	IM	7,54	12	0,15	B
	IA	7,29	12	0,15	B

Nota. Las siglas E.E hacen referencia al error experimental.

En el análisis de la tabla 10 en la muestra de CU, aunque los valores se ubican entre 8,01- 8,08 es evidente que se mantienen en un mismo rango (A), según el estadístico “prueba de Tukey” al 5%, para él % de pérdida de sustrato e intensidad se evidencia que en las muestras CU, el % de perdida de sustrato es indiferente a la intensidad alcanzada.

En PMGQ y PP se observa que el tratamiento térmico de IA es en ambos casos significativamente diferente a los tratamientos de IB e IM.

5.3.2 Propiedades fisicoquímicas

5.3.2.1 Humedad de los suelos de estudio.

Tabla 11.

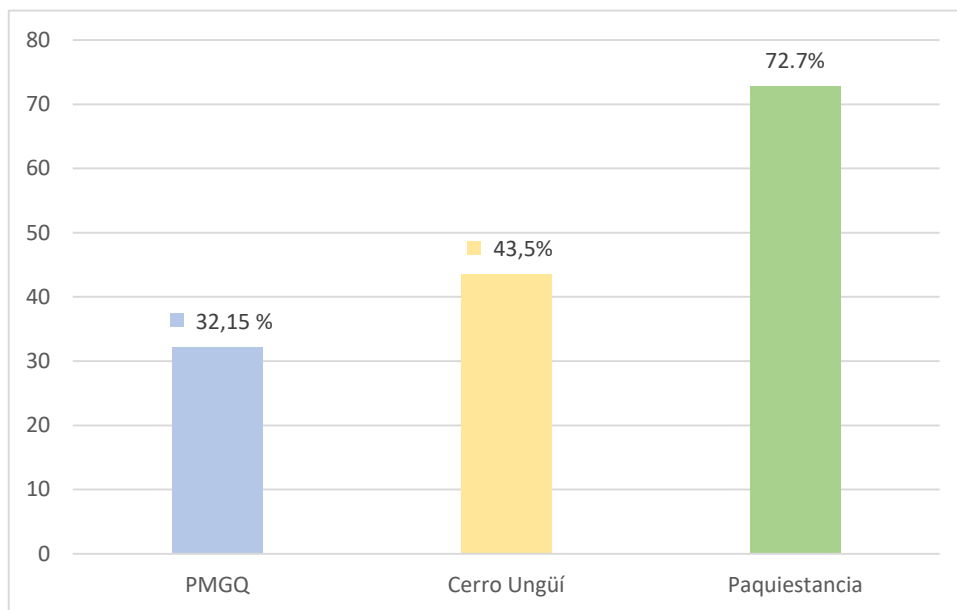
Porcentaje de humedad para los suelos de cerro Ungüí, Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP), Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito (PMGQ)

Lugar de la muestra	Porcentaje de humedad
Parque Metropolitano Guangüiltagua	32,15%
Cerro Ungüí	43,5%
Paquiestancia	72,7%

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 5

Porcentaje de Humedad presente en los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí, Paquiestancia



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En este gráfico se puede visualizar que el mayor porcentaje de humedad se presenta en el suelo Páramo de Paquiestancia con un 72,7 %, el porcentaje de humedad del CE es de 43,5 y el menor valor de humedad se encuentra en el PMGQ con 53,62%.

Las diferencias observadas en la humedad de los distintos suelos pueden deberse a la textura propio de cada muestra, el suelo del Páramo de Paquiestancia presenta textura Franco por otro lado los suelos de PMGQ y el CE presentan ambos una textura inicial de Arenoso franco, TRAXCO (2009) muestra los porcentajes de humedad disponible, identificando que la textura franca tiene un mayor porcentaje.

5.3.2.2 Potencial de Hidrógeno.

Tabla 12.

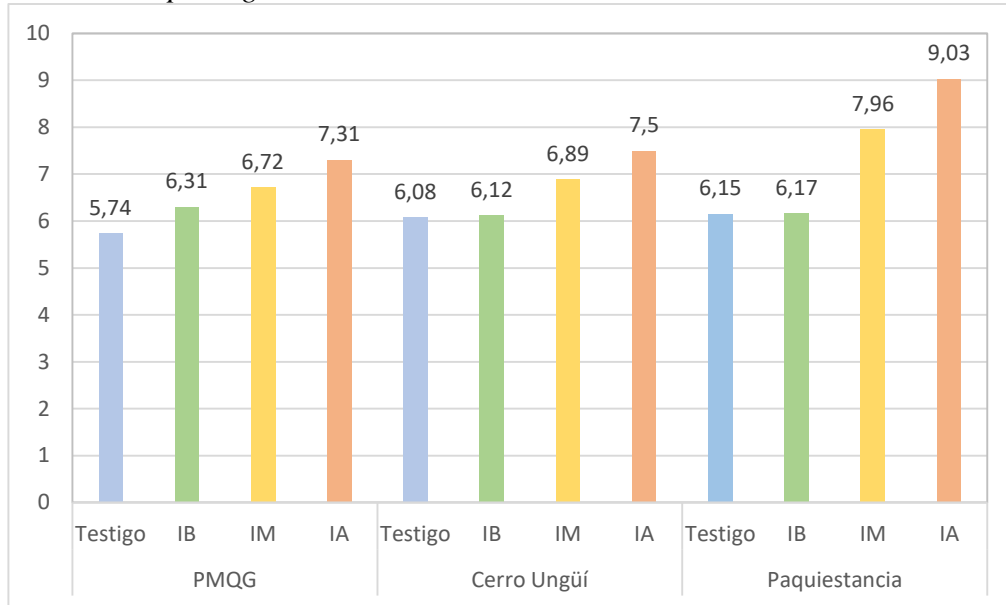
Desviación estándar con su potencial de hidrógeno vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

Lugar de la muestra de suelo	Intensidad de quema	pH	STD [±]
Parque Metropolitano Guangüiltagua	Testigo	5,74	0,02
	IB	6,31	0,02
	IM	6,72	0,03
	IA	7,31	0,01
Cerro Ungüí	Testigo	6,08	0,03
	IB	6,12	0,05
	IM	6,89	0,05
	IA	7,50	0,02
Paquiestancia	Testigo	6,15	0,02
	IB	6,17	0,01
	IM	7,96	0,01
	IA	9,03	0,02

Nota. Las siglas STD hacen referencia a la desviación estándar (standard deviation).

Figura 6

Variaciones de pH según la intensidad del incendio simulado



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Los valores de pH medidos luego de los tratamientos térmicos realizados sobre las muestras de suelo, se compara con el valor de pH de las muestras testigo, notando en todos los casos el pH sigue aumentando mientras aumenta la intensidad de quema. Según De las Heras, Herranz y Martínez (1991), el incremento del pH en incendios forestales produce cenizas, lo que ocasiona una gran cantidad de carbonato potásico, sales procedentes de ácidos débiles y bases fuertes capaces de hidrolizarse.

Es visible que en el páramo de Paquiestancia es donde existe mayor incremento en el pH, esto puede deberse a que existe mayor pérdida de ácidos húmicos o fúlvicos en la fracción de MO. (González Parra, Fernández Bermejo, & Iglesias López, 1993).

Tabla 13.

Análisis de varianza ANOVA del pH, para el tratamiento térmico del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	0,30		0,60		0,17	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indican que el ($p = <0,0001$) es decir, en las tres intensidades (IB, IM, IA) aplicadas a las muestras de suelo de PMGQ, CU, PP, existe diferencia significativa entre los valores de pH alcanzados.

Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 0.30% para el PMGQ, 0.60% para CU y 0.17% para el PP.

Tabla 14.

Prueba de Tukey (5%) del pH para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	6,31	3	0,01	A
	IM	6,72	3	0,01	B
	IA	7,31	3	0,01	C
Cerro Ungüí	IB	6,10	3	0,02	A
	IM	6,87	3	0,02	B
	IA	7,49	3	0,02	C
Paquiestancia	IB	6,17	3	0,01	A
	IM	7,96	3	0,01	B
	IA	9,03	3	0,01	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En el análisis de la prueba de Tukey al 5% para el potencial de hidrógeno se puede presenciar que aumenta directamente con la intensidad de quema, pues presentan diferencias en IB, IM e IA.

5.3.2.3 Materia Orgánica.

Tabla 15.

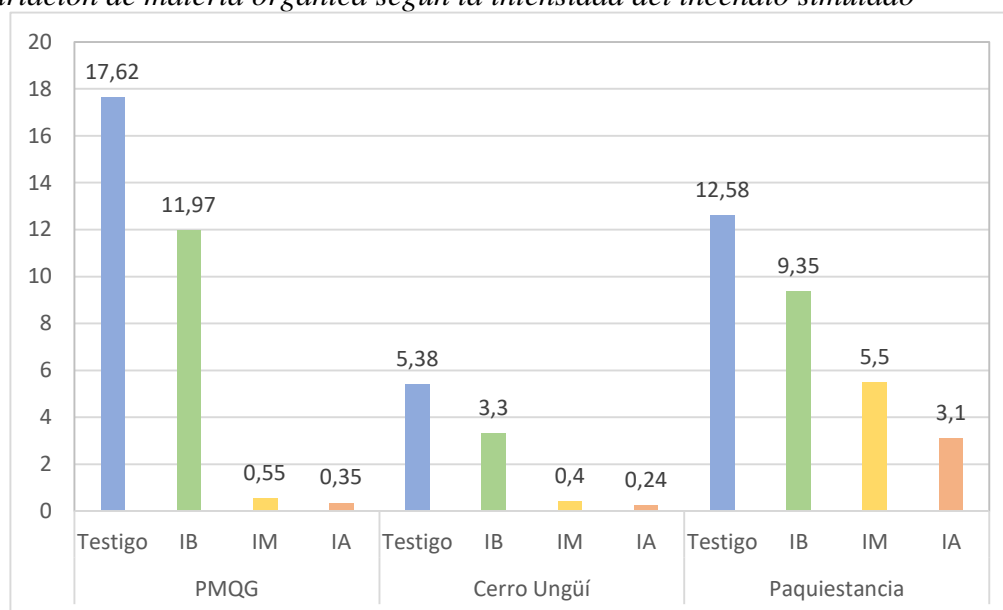
Desviación estándar para el % de MO vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	% MO	STD[±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	17,62	0,23
	IB	11,97	0,45
	IM	0,55	0,07
	IA	0,35	0,05
Cerro Ungüí	Testigo	5,38	0,32
	IB	3,30	0,25
	IM	0,40	0,04
	IA	0,24	0,03
Paquiestancia	Testigo	12,58	0,15
	IB	9,35	0,02
	IM	5,50	0,61
	IA	3,10	0,22

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 7

Variación de materia orgánica según la intensidad del incendio simulado



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Con respecto a la muestra testigo, los cambios generados en la concentración de Materia orgánica luego de haber sido aplicados los tratamientos, estos tienden a una disminución mientras aumenta la intensidad de quema. Según Cerdà , Merche, & Mataix-Solera, (2012) la Materia orgánica se perturba cuando existe un rango de temperatura entre 100 °C y 500 °C, mientras más alta es la temperatura mayor cantidad de materia orgánica es la afectada, pero a partir de los 450 °C es en donde ya se comienza a notar un cambio drástico (pág. 44).

Los resultados obtenidos muestran que los suelos de PMGQ y CU son mayormente sensibles a las intensidades medias y altas en las que pierden materia orgánica de forma drástica llegando a conservar porcentajes de Materia orgánica menores al 0,5%. Las muestras de suelo de PP, disminuyen la Materia orgánica, aunque conservan valores entre 3 y 5%. Según González Parra, Fernández Bermejo, & Iglesias López (1993) esto puede deberse al tipo de textura que presentan los suelos.

Tabla 16.

Análisis de varianza ANOVA de MO, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	6,13		11,19		6,11	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos en la Tabla 16 al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica que el ($p = <0,0001$), por lo tanto, existe diferencia significativa entre el tratamiento térmico realizado a nivel de laboratorio para las muestras de suelo de PMGQ, CU, PP, el cual va a determinar las distintas concentraciones de Materia orgánica en las muestras de suelo según su intensidad de quema a las que están expuestas. Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 6,13% para el PMGQ, 11,19% para CU y 6,11% para el PP.

Tabla 17.

Prueba de Tukey (5%) del pH para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	12,05	3	0,15	A
	IM	0,55	3	0,15	B
	IA	0,36	3	0,15	B
Cerro Ungüí	IB	3,33	3	0,09	A
	IM	0,38	3	0,09	B
	IA	0,25	3	0,09	B
Paquiestancia	IB	9,34	3	0,21	A
	IM	5,57	3	0,21	B
	IA	9,34	3	0,21	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

5.3.2.4 Nitrógeno.

Tabla 18.

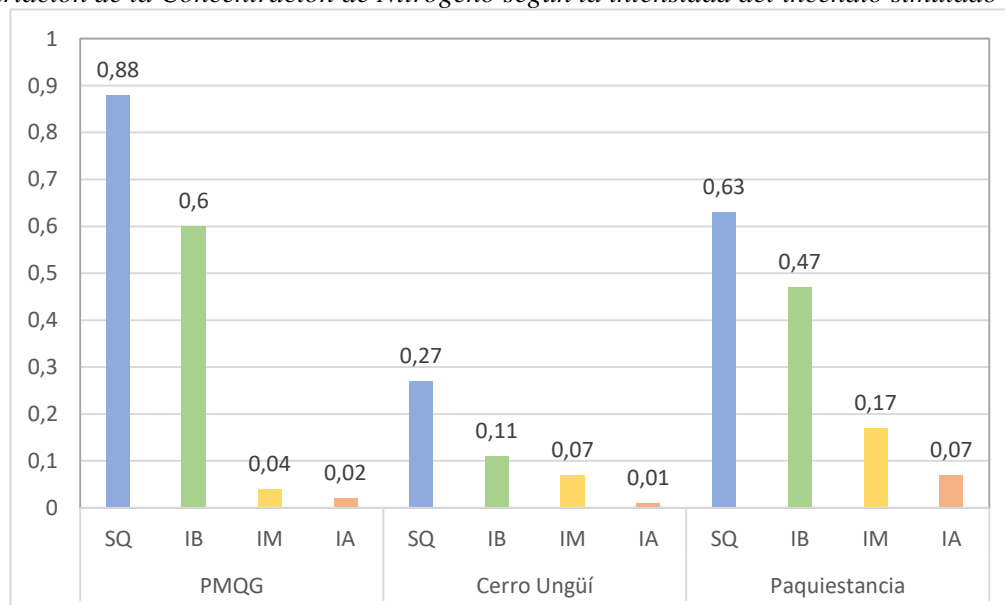
Desviación estándar para el % de N vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	% N	STD[±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	0,88	0,25
	IB	0,60	0,13
	IM	0,04	0,01
	IA	0,02	0,01
Cerro Ungüí	Testigo	0,27	0,34
	IB	0,11	0,02
	IM	0,07	0,01
	IA	0,01	0,01
Paquiestancia	Testigo	0,63	0,14
	IB	0,47	0,02
	IM	0,17	0,05
	IA	0,07	0,01

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 8

Variación de la Concentración de Nitrógeno según la intensidad del incendio simulado



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los tratamientos térmicos realizados en laboratorio, se compara la variación del porcentaje de nitrógeno en IB, IM, IA con respecto a la muestra testigo, y se evidencia que el % de Nitrógeno disminuye conforme aumenta la intensidad de quema. Según Úbeda, (2001), el Nitrógeno es el elemento más afectado en los incendios forestales principalmente a los 2 centímetros de la capa superior del suelo, pues este elemento se transforma en su gran mayoría en N_2 y en formas más complicadas. Al volatilizarse y oxidarse se registra una disminución de hasta un 30% a una temperatura aproximada de 200 °C y un 75% a una temperatura de 450°C.

El PMGQ contiene mayor cantidad de Nitrógeno con respecto a los otros tipos de suelo con el 0,88% de Nitrógeno y también es el suelo que mayor pérdida presente, esto puede ser por la clase de textura que presenta el suelo. (C. Lacasta, 2006)

Tabla 19.

Análisis de varianza (ANOVA) del % de N, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	4,12		5,05		2,88	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos en la Tabla 19 al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica un valor de ($p = <0,0001$) que indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos térmicos realizados a nivel de laboratorio para las muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.

Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 4,12% para el PMGQ, 5,05% para CU y 2,88% para el PP.

Tabla 20.

Prueba de Tukey (5%) del % de N para las muestras de suelo Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	0,01	3	0,04	A
	IM	0,0	3	0,04	B
	IA	0,01	3	0,04	C
Cerro Ungüí	IB	0,02	3	0,002	A
	IM	0,06	3	0,002	B
	IA	0,15	3	0,002	C
Paquiestancia	IB	0.48	3	0.004	A
	IM	0.16	3	0,004	B
	IA	0.08	3	0,004	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

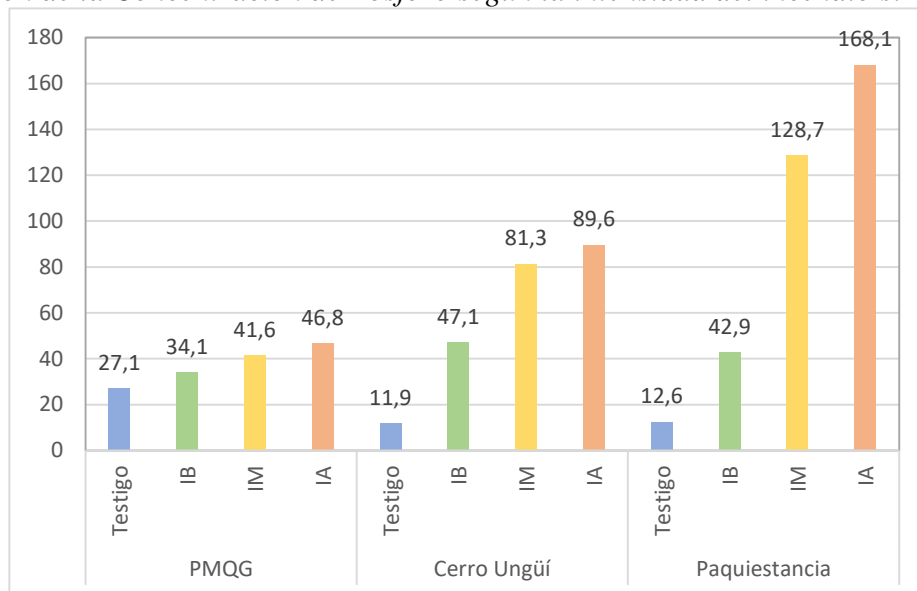
La prueba de Tukey al 5% para el % de Nitrógeno evidencia una pérdida de este elemento en relación directa con la intensidad de quema, y cada muestra proveniente de PMGQ, CU y PP se comporta de forma diferente luego de los tres tratamientos térmicos aplicados.

5.3.2.5 Fosforo.

Tabla 21.

Desviación estándar para el P vs muestra para los suelos de suelo Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	P (mg/kg)	STD⁺₋
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	27,10	0,19
	IB	34,10	1,74
	IM	41,60	1,82
Cerro Ungüí	IA	46,80	0,90
	Testigo	11,90	0,23
	IB	47,10	1,56
Paquiestancia	IM	81,30	3,05
	IA	89,60	0,85
	Testigo	12,60	1,41
	IB	42,90	4,86
	IM	128,70	2,37

Figura 9*Variación de la Concentración de Fósforo según la intensidad del incendio simulado*

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los tratamientos térmicos realizados en laboratorio, se compara al fosforo en IB, IM, IA con respecto a la muestra testigo luego de haber realizado las diferentes simulaciones. Se registra experimentalmente que el Fósforo aumenta conforme aumenta la intensidad de quema. Según Wani (2015) el Fósforo puede incrementarse en el orden de 5 a 10 veces sus valores iniciales.

En el PP, una vez sometida a diferentes intensidades (IB, IM, IA), existe un aumento del Fosforo que va desde 12,6 hasta 168,1 (mg/kg) equivalente a un aumento de 155.5 (mg/kg). En PMGQ y CU el aumento fue de hasta el 19,7 y 77,7 (mg/kg) respectivamente. Esto puede ocurrir por la textura del suelo, Suñer & Galantini (2015) comentan que “la textura del suelo afecta la disponibilidad Nitrógeno y Fosforo influyendo sobre la

acumulación Materia orgánica, la actividad microbiana del suelo y equilibrios físico-químicos”

Tabla 22.

Análisis de varianza (ANOVA) del P, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	0,0003	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	3,77		2,81		3,24	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la tabla 22 al ejecutar el ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica que el PMGQ con un valor de p ($p = 0,0003$), difiere de los valores de p ($p = <0,0001$) de CU y PP, y al no ser un valor mayor al 5% existe diferencia significativa entre los tratamientos térmicos realizados a nivel de laboratorio para las muestras de suelo de PMGQ, CU, PP.

Analizando el coeficiente de variación para las muestras de suelo de PMGQ, CU y PP, se observa un 3,77%, 2,81% y 3,24% respectivamente.

Tabla 23.

Prueba de Tukey (5%) del P para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	34,9	3	0,89	A
	IM	41,27	3	0,89	B
	IA	46,8	3	0,89	C
Cerro Ungüí	IB	46,87	3	1,18	A
	IM	81,2	3	1,18	B
	IA	89,35	3	1,18	C
Paquiestancia	IB	41,27	3	2,1	A
	IM	128,03	3	2,1	B
	IA	167,27	3	2,1	C

La prueba de Tukey al 5% para el Fósforo indica un incremento directamente con la intensidad de quema, existen diferencias en IB, IM e IA y cada intensidad sigue un mismo modelo.

Adicionalmente tienen un coeficiente de correlación de Pearson 0,96 en el PMGQ, 0,98 en el CU y finalmente 1,00 en el PP

5.3.2.6 Potasio.

Tabla 24.

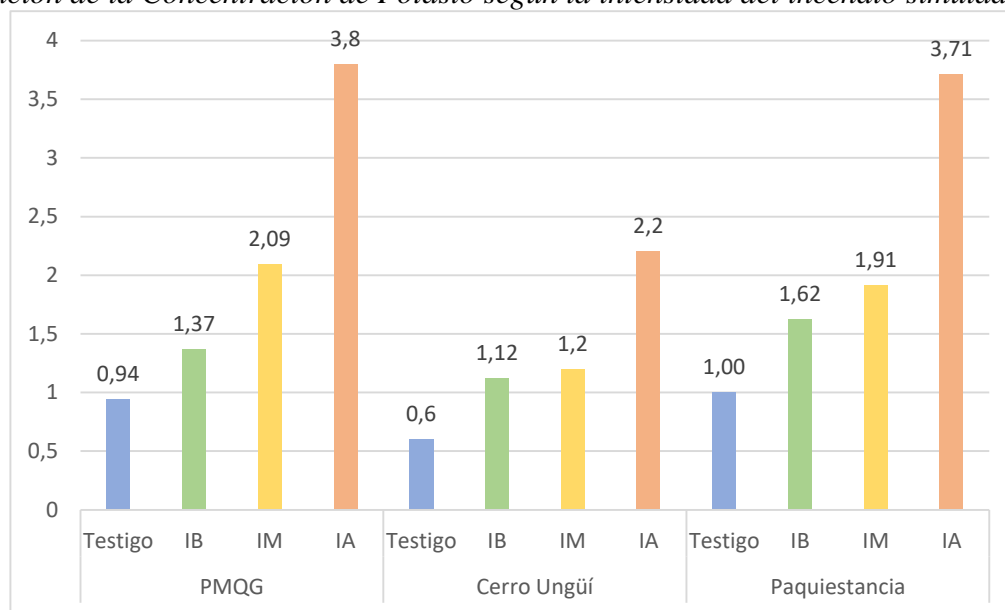
Desviación estándar para el K vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	K (cmol/kg)	STD\pm
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	0,94	0,02
	IB	1,37	0,03
	IM	2,09	0,12
	IA	3,80	0,26
Cerro Ungüí	Testigo	0,6	0,04
	IB	1,12	0,07
	IM	1,20	0,20
	IA	2,20	0,30
Paquiestancia	Testigo	1	0,08
	IB	1,62	0,21
	IM	1,91	0,18
	IA	3,71	0,21

Nota: cmol= meq/100g suelo

Figura 10

Variación de la Concentración de Potasio según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

El Potasio tiende a incrementar su concentración directamente con la intensidad de quema. De las Heras, Herranz y Martínez, (1991) afirma, que la producción de cenizas hace que el potasio experimente un incremento de hasta 4 veces sus valores iniciales, sin embargo, estos incrementos desaparecen rápidamente por factores ambientales.

El PMGQ que va desde 0,94 hasta 3,80 es la que tiene un aumento de 2,86 de concentración de Potasio, seguido del PP con un aumento de 2,71 de concentración de Potasio, finalizando con el CU que su concentración de Potasio tiene un aumento de 1,6 (cmol/kg), esto podría suceder debido a la textura del suelo. Sanzano (2014) afirma, que el Potasio es retenido en materiales arcillosos y coloidales, mientras que el Potasio en los suelos que contienen textura gruesa disminuye cuando ocurre escorrentía. Por lo tanto, el Potasio se encuentra en mayor proporción en la arcilla.

Tabla 25.

Análisis de varianza (ANOVA) del K, para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüf y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guangüiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	0,0013	S	<0,0001	S
CV	6,84		13,9		8,26	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la tabla 25 una vez realizada la ANOVA con un nivel de significancia del 5%, se observa que para en el CU existe un valor de ($p = 0,0013$) que es distinto al PMGQ y PP que tienen el valor de p ($p = <0,0001$), estos valores de p no sobrepasan 5%, por lo que existe una diferencia significativa entre los tratamientos térmicos realizados a nivel de laboratorio para las muestras de suelo de PMGQ, CU, PP en relación a la concentración de Potasio.

Analizando el coeficiente de variación para las muestras de suelo de PMGQ, CU y PP, se observa un 6,84%, 13,9% y 8,26% respectivamente.

Tabla 26.

Prueba de Tukey (5%) del K para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guangüiltagua	IB	1,38	3	0,09	A
	IM	2,05	3	0,09	B
	IA	3,77	3	0,09	C
Cerro Ungüí	IB	1,13	3	0,12	A
	IM	1,2	3	0,12	B
	IA	2,2	3	0,12	C
Paquiestancia	IB	1,58	3	0,12	A
	IM	1,95	3	0,12	B
	IA	3,76	3	0,12	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la prueba de Tukey (5%) las muestras y el contenido de Potasio se ubican en distintos rangos para cada intensidad de la quema (IB, IM e IA)

5.3.2.7 Calcio.

Tabla 27.

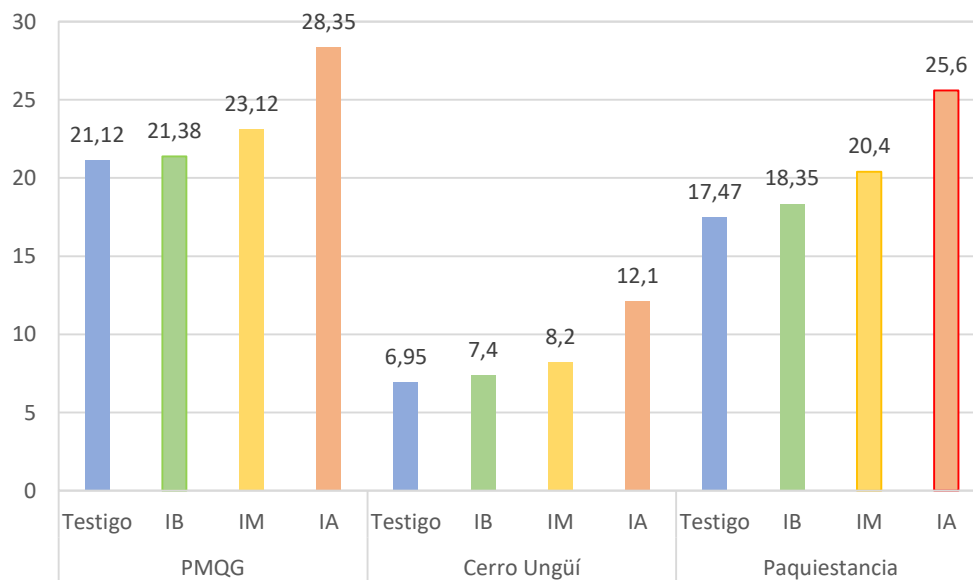
Desviación estándar para el Ca vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Ca (cmol/kg)	STD[±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	21,12	0,24
	IB	21,38	0,64
	IM	23,12	0,56
	IA	28,35	0,51
Cerro Ungüí	Testigo	6,95	0,44
	IB	7,4	0,27
	IM	8,2	0,29
	IA	12,1	0,49
Paquiestancia	Testigo	17,47	0,33
	IB	18,35	0,41
	IM	20,4	0,15
	IA	25,6	0,63

Nota: cmol= meq/100g suelo

Figura 11

Variación de la Concentración de Calcio según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Se observa que existe una relación directa entre la intensidad de quema y el aumento en los valores de calcio. Las muestras de suelo provenientes de PMGQ alcanzan valores más altos de este nutriente seguido del contenido de calcio para las muestras de PP. Las muestras provenientes de CU contienen los menores valores de calcio. González Parra, Fernández Bermejo, & Iglesias López, (1993), comentan que algunos elementos entre ellos el calcio, tienden a un incremento después de un incendio forestal debido a que la suma de bases es mayor en los suelos impactados por un incendio, es decir que los cationes divalentes principalmente el Ca^{+2} aumentan en superficie respecto a los monovalentes debido a la mayor solubilidad.

La variación en los valores de calcio en los distintos suelos puede deberse a la textura del suelo o el pH, pues cuando ocurre un incendio forestal los suelos tienden a volverse alcalinos por la producción de cenizas que contienen cationes entre ellos el calcio.

Tabla 28.

Análisis de varianza (ANOVA) del Ca para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	2,82		4,79		2,48	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos en la Tabla 28 una vez aplicada la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica el mismo valor de p ($p = <0,0001$) para los 3 tipos de muestra (PMGQ, CU, PP), lo que indica que existe una diferencia significativa para los suelos de PMGQ, CU y PP.

Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 2,82% para el PMGQ, 4,79% para CU y 2,48% para PP.

Tabla 29.

Prueba de Tukey (5%) del Ca para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	21,41	3	0,40	A
	IM	23,39	3	0,40	B
Cerro Ungüí	IA	28,62	3	0,40	C
	IB	7,53	3	0,26	A
	IM	8,10	3	0,26	B
Paquiestancia	IA	12,13	3	0,26	C
	IB	18,57	3	0,31	A
	IM	20,33	3	0,31	B
	IA	25,43	3	0,31	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la prueba de Tukey al 5% para los valores de Ca se evidencia un aumento de este nutriente en una relación directa con la intensidad de quema. Cada una de las muestras de suelo se comporta de forma diferente luego que los tratamientos térmicos fueron aplicados.

5.3.2.8 Cobre.

Tabla 30.

Desviación estándar para el Cu vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

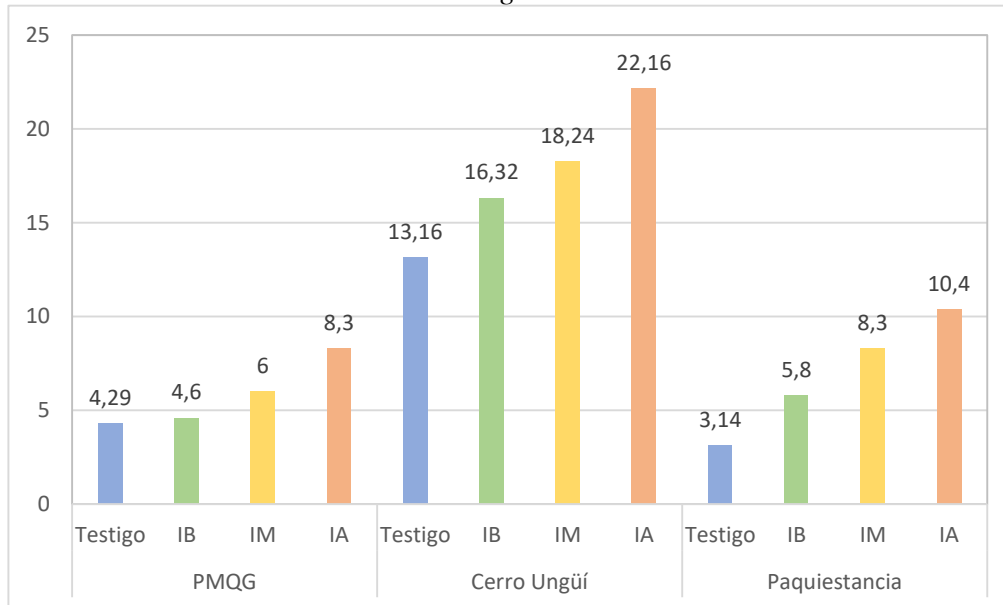
	Intensidad de quema	Cu (mg/kg)	STD[±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	4,29	0,11
	IB	4,61	0,03
	IM	6,08	0,14
	IA	8,32	0,46
Cerro Ungüí	Testigo	13,16	0,02
	IB	16,32	0,79
	IM	18,24	0,36
	IA	22,16	0,72
Paquiestancia	Testigo	3,14	0,22

IB	5,81	0,61
IM	8,32	0,38
IA	10,41	0,49

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 12

Variación de la Concentración de Cobre según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Una vez que se comparan los valores de Cobre obtenido experimentalmente entre las muestras testigo y las muestras sometidas a las tres intensidades (IB, IM, IA) se puede apreciar que el cobre aumenta a medida que la temperatura también lo hace, Bastidas & Toaquiza (2017) menciona que los tratamientos térmicos incrementan el pH, este a su vez produce un aumento de cobre. La mayor concentración de Cobre obtenidos en el PMQG, CU y PP después de la simulación de incendios forestales son de 8,3, 22,16, 10,4 (mg/kg) respectivamente están por debajo de los límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), en el libro VI Anexo 2 se mencionan las normas de calidad ambiental del recurso suelo que es de 30 (mg/kg).

Se puede apreciar que el suelo con mayor cobre es el CU, seguido del PMGQ y finalmente el suelo con menor valor de este nutriente es el PP, es importante destacar el papel del cobre como componente de muchos herbicidas y que en la zona del Cerro Ungüí existe actividad agrícola.

Tabla 31.

Análisis de varianza (ANOVA) del Cu para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	0,0001	S	0,0001	S
CV	4,39		3,43		6,20	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos en la tabla 31 al aplicar el ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica un ($p < 0,0001$) para el PMGQ, y un ($p = 0,0001$) para el CE y el PP lo que indica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos térmicos realizado a nivel de laboratorio para las muestras de PMGQ, CU y el PP.

Con respecto al coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo se observa un 4,39% para el PMGQ, un 3,43 % para el CU y un 6,20%.

Tabla 32.

Prueba de Tukey (5%) del Cu para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano	IB	4,60	3	0,16	A
	IM	6,04	3	0,16	B
Guanguiltagua	IA	8,27	3	0,16	C
	IB	16,48	3	0,38	A
Cerro Ungüí	IM	18,24	3	0,38	B
	IA	22,1	3	0,38	C

Paquiestancia	IB	5,73	3	0,29	A
	IM	8,39	3	0,29	B
	IA	10,17	3	0,29	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Las variaciones de los valores de Cu para los suelos de PMGQ, CE y del PP, se presentan en la tabla 32, donde se observa que el cobre aumenta directamente con la intensidad de quema. Los suelos sometidos presentan diferencias en todos los tratamientos.

5.3.2.9 Hierro.

Tabla 33.

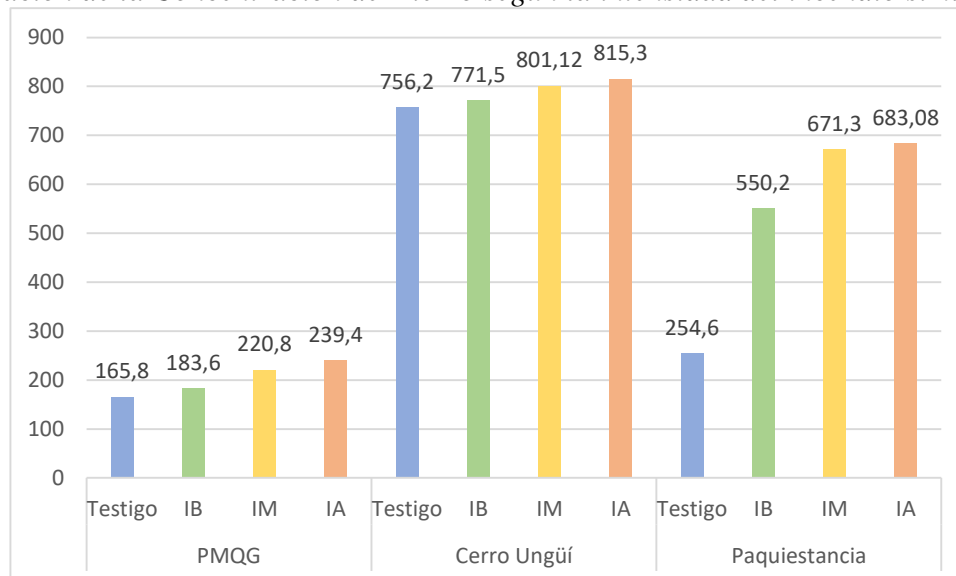
Desviación estándar para el Fe vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Fe (mg/kg)	STD [±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	165,8	0,21
	IB	183,6	0,88
	IM	220,8	0,25
	IA	239,4	1,21
Cerro Ungüí	Testigo	756,2	0,25
	IB	771,5	1,45
	IM	801,12	0,72
	IA	815,3	0,38
Paquiestancia	Testigo	254,6	0,45
	IB	550,2	0,50
	IM	671,3	0,25
	IA	683,08	0,06

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 13

Variación de la Concentración de Hierro según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

El mayor valor de Fe está presente en el CU, seguido del PMGQ y finalmente el suelo con menor valor de este nutriente es el PP.

Tabla 34.

Análisis de varianza (ANOVA) del Fe para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	0,41		0,12		0,05	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se observa que los 3 tipos de suelo presentan un ($p = <0,0001$) lo que indica una diferencia significativa después de someter a los suelos de estudio (PMGQ, CU, PP) al tratamiento térmico.

Los coeficientes de variación para las diferentes muestras de suelo indican una correcta experimentación.

Tabla 35.

Prueba de Tukey (5%) del Cu para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque	IB	183,37	3	0,51	C
Metropolitano	IM	220,77	3	0,51	B
Guanguiltagua	IA	239,2	3	0,51	A
	IB	771,6	3	0,55	C
Cerro Ungüí	IM	801,31	3	0,55	B
	IA	815,13	3	0,55	A
	IB	550,2	3	0,19	C
Paquiestancia	IM	671,27	3	0,19	B
	IA	683,07	3	0,19	A

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la prueba de Tukey al 5% para el Fe se puede observar que este elemento aumenta directamente con la intensidad de quema. Existen diferencias en las distintas intensidades (IB, IM, IA).

5.3.2.10 Magnesio.

Tabla 36.

Desviación estándar para el Mg vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

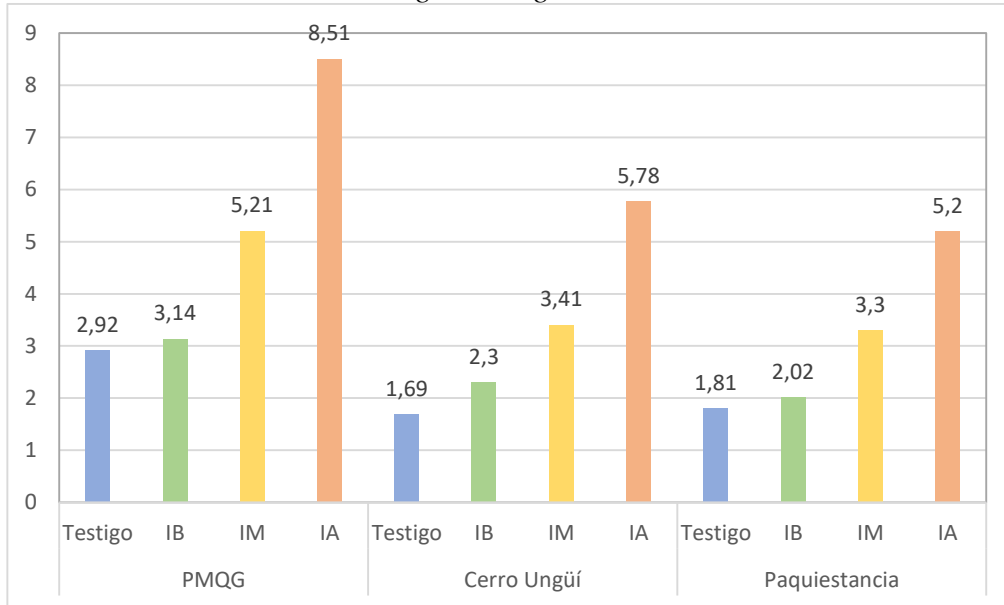
	Intensidad de quema	Mg (cmol/kg)	STD[±]
Parque	Testigo	2,92	0,14
	IB	3,14	0,35
Metropolitano	IM	5,21	0,53
	IA	8,51	0,43
Cerro Ungüí	Testigo	1,69	0,55
	IB	2,30	0,15
	IM	3,41	0,26
	IA	5,78	0,46
Paquiestancia	Testigo	1,81	0,44
	IB	2,02	0,26

IM	3,32	0,26
IA	5,21	0,29

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 14

Variación de la Concentración de Magnesio según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En figura 14 se observa que existe una relación directa entre la intensidad de quema y el aumento de los niveles de magnesio, el máximo nivel corresponde a 8,51 cmol/kg perteneciente al suelo del PMQG en el tratamiento de alta intensidad, luego siguen los valores del suelo del CU y PP en ese orden. Ortega & Rodríguez (2007) mencionan que después de que ocurre un incendio los valores de nutrientes asimilables como el magnesio se incrementa. Ross (2004) afirma que, los diferentes valores de este nutriente pueden verse influenciados por varios factores, principalmente la temperatura, la humedad del suelo, el clima, el pH y la presencia de otros cationes que son capaces de producir variación de la concentración de Magnesio en el suelo.

Tabla 37.

Análisis de varianza (ANOVA) del Mg para el tratamiento térmico de Parque Metropolitano Guangiiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Parque Metropolitano Guangüiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
F. V	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	7,77		8,37		7,33	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se observa que los 3 tipos de suelo presentan un ($p = <0,0001$) por lo tanto existe una diferencia significativa cuando se aplicó el tratamiento térmico en el laboratorio.

Los coeficientes de variación para las diferentes muestras de suelo (PMGQ, CU, PP) comprueban que se realizó correcta experimentación.

Tabla 38.

Prueba de Tukey (5%) del Mg para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guangüiltagua	IB	3,26	3	0,25	A
	IM	5,41	3	0,25	B
	IA	8,38	3	0,25	C
Cerro Ungüí	IB	2,27	3	0,18	A
	IM	3,40	3	0,18	B
	IA	5,72	3	0,18	C
Paquiestancia	IB	2,15	3	0,15	A
	IM	3,20	3	0,15	B
	IA	5,30	3	0,15	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la prueba de Tukey al 5% para el Mg se observa un incremento en su concentración que se relaciona directamente con el aumento en la intensidad de la quema.

Todas las intensidades IB, IM e IA son diferentes.

5.3.2.11 Manganeso.

Tabla 39.

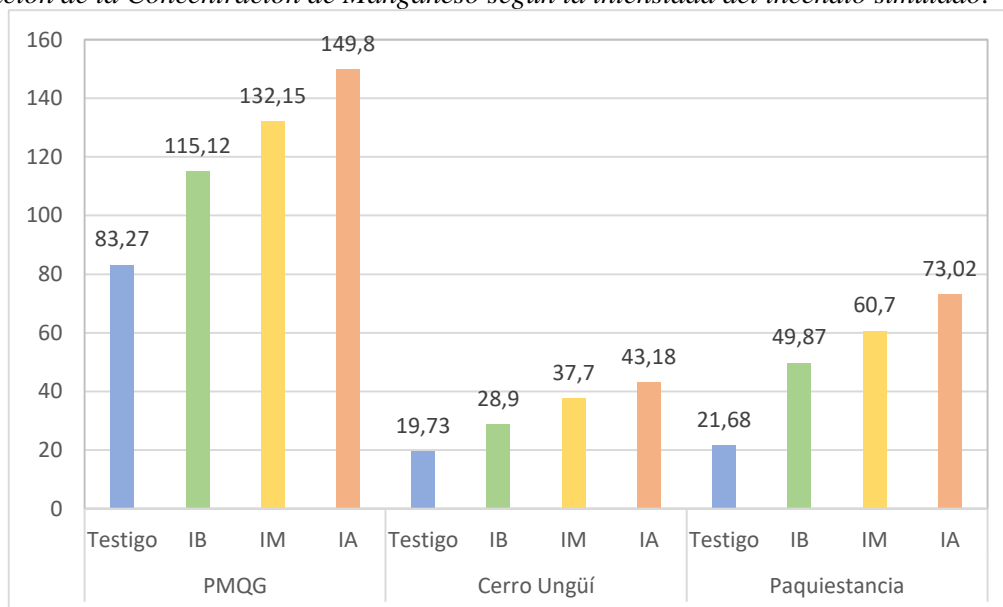
Desviación estándar para el Mn vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Mg (mg/kg)	STD[±]
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	83,27	0,25
	IB	115,12	0,84
	IM	132,15	0,83
	IA	149,8	0,57
Cerro Ungüí	Testigo	19,73	0,14
	IB	28,9	0,39
	IM	37,7	1,07
	IA	43,18	0,82
Paquiestancia	Testigo	21,68	0,45
	IB	49,87	0,82
	IM	60,7	0,29
	IA	73,02	0,41

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 15

Variación de la Concentración de Manganeso según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la figura 15 se puede observar que el Mn va aumentando conforme se incrementa la intensidad de la quema. El PMGQ es el suelo que presenta mayor cantidad de manganeso,

seguido del Páramo de Paquiestancia y finalmente el Cerro Ungüí que tiene la menor concentración de este metal. Según comentan Cerdà , Merche, & Mataix-Solera (2012) Cerdà, el aporte de cenizas producto de un tratamiento térmico enriquece el suelo con un aumento de nutrientes entre estos el manganeso.

El pH y la textura del suelo pueden ser un factor que haga que los valores de estos nutrientes varíen.

Tabla 40.

Análisis de varianza (ANOVA) del Mn para el tratamiento térmico de PMGQ, CU, PP. Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	<0,0001	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	0,57		2,20		0,91	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En los resultados obtenidos en la tabla 40 al aplicar la ANOVA a un nivel de significancia del 5%, se indica que el ($p < 0,0001$) por tanto, existe diferencia significativa en los tratamientos térmicos realizados a nivel de laboratorio sobre las muestras de suelos PMGQ, CU y PP.

El coeficiente de variación para las diferentes muestras de suelo muestra un 0,57% para el PMGQ, un 2,20 % para el CU y un 0,91%.

Tabla 41.

Prueba de Tukey (5%) del Mn para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque	IB	114,84	3	0,44	A
Metropolitano	IM	132,24	3	0,44	B

Guangüiltagua	IA	149,71	3	0,44	C
	IB	28,92	3	0,47	A
Cerro Ungüí	IM	37,31	3	0,47	B
	IA	42,8	3	0,47	C
	IB	49,53	3	0,32	A
Paquiestancia	IM	60,72	3	0,32	B
	IA	72,84	3	0,32	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Las variaciones de los valores para el suelo del PMGQ, CE y del PP, se presentan en la tabla 43, es evidente que el manganeso aumenta directamente con la intensidad de quema. Los suelos sometidos presentan diferencias en cada tipo de intensidad.

5.3.2.12 Zinc.

Tabla 42.

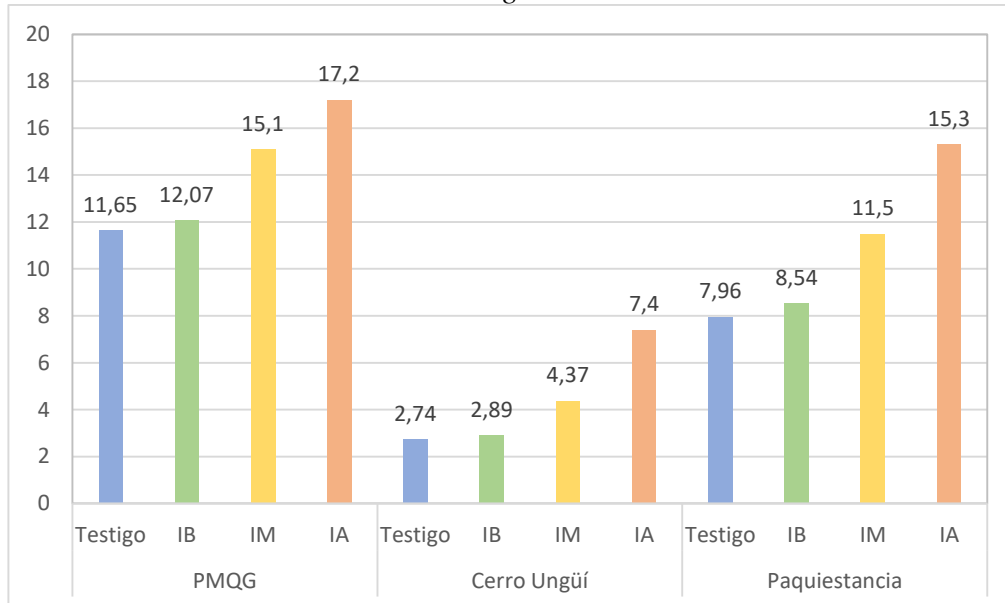
Desviación estándar para el Zn vs muestra para los suelos de Parque Metropolitano Guangüiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Zn (mg/kg)	STD[±]
Parque Metropolitano Guangüiltagua	Testigo	11,65	0,20
	IB	12,07	0,59
	IM	15,1	0,46
	IA	17,2	0,96
Cerro Ungüí	Testigo	2,74	0,18
	IB	2,89	0,38
	IM	4,37	0,35
	IA	7,4	0,46
Paquiestancia	Testigo	7,96	0,25
	IB	8,54	0,54
	IM	11,5	0,72
	IA	15,3	0,67

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 16

Variación de la Concentración de Zinc según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En la figura 16 se observa que los niveles de Zinc en el PMQG, CU y en PP tienden a elevarse, el tratamiento térmico correspondiente a intensidad alta permite alcanzar los valores máximos de Zinc en los tres tipos de suelos analizados. Los valores máximos de concentración de Zinc después de ser sometidos al tratamiento término del PMQG, CU y PP son de 17,2, 7,4, 15,3 (mg/kg) respectivamente no superan los límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), en el libro VI Anexo 2 se mencionan las normas de calidad ambiental del recurso suelo que es de 60 (mg/kg)

El PMQG es la muestra de suelo que mayor valor de zinc presenta, seguida del PP y del CU en ese orden. LARIOS BAYONA (2014) compara los valores de distintos tipos de suelos encontrando que después de un incendio forestal las concentraciones de zinc tienden a

incrementarse. La variación de las concentraciones de zinc podría deberse a la textura del suelo o al uso de algunos fungicidas, esto puede incrementar el contenido de este nutriente.

Tabla 43.

Análisis de varianza (ANOVA) del Zn para el tratamiento térmico Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

F. V	Parque Metropolitano Guanguiltagua		Cerro Ungüí		Paquiestancia	
	p-valor	significancia	p-valor	significancia	p-valor	significancia
Tratamiento térmico	0,0002	S	<0,0001	S	<0,0001	S
CV	4,75		8,24		5,62	

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Una vez aplicada la ANOVA a un nivel de significancia del 5% en la tabla 45 se encontró que el tratamiento térmico para el zinc tiene diferencia significativa para todas las muestras de suelo analizadas con un ($p < 0,0002$) para las muestras del PMGQ y un ($p < 0,0001$) para el CE y el PP.

Los coeficientes de variación para el suelo del PMGQ, CE y de PP expuestas a los tratamientos térmicos son 4,75 %, 8,24 % y 5,62 % respectivamente.

Tabla 44.

Prueba de Tukey (5%) del Zn para las muestras de suelo de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	Medias	n	E. E	Rango
Parque Metropolitano Guanguiltagua	IB	11,91	3	0,41	A
	IM	15,01	3	0,41	B
	IA	17,37	3	0,41	C
Cerro Ungüí	IB	2,98	3	0,23	A
	IM	4,29	3	0,23	B
	IA	7,30	3	0,23	C
Paquiestancia	IB	8,28	3	0,37	A
	IM	11,13	3	0,37	B
	IA	15,13	3	0,37	C

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Las variaciones de los valores de zinc para los suelos del PMGQ, CU y PP se presentan en la tabla 44, se observa que el zinc aumenta directamente con la intensidad de quema. Los suelos sometidos presentan diferencias en todos los tratamientos.

5.3.3 Clasificación Textural

Tabla 45.

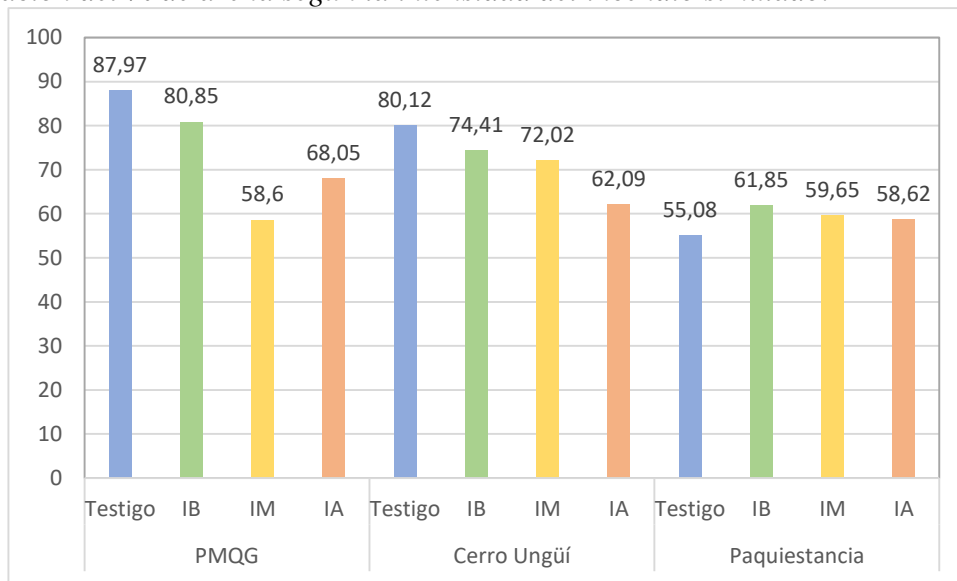
Textura, porcentajes de arena, arcilla, limo y desviación estándar para los suelos de Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Cerro Ungüí y Páramo de Paquiestancia.

	Intensidad de quema	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase de textura
Parque Metropolitano Guanguiltagua	Testigo	87,97	4,41	6,47	Arenoso franco
	IB	80,85	17,6	1,30	Arena arcillosa
	IM	58,6	29,75	11,61	Franco arenoso
	IA	68,05	24,85	6,45	Franco arenoso
Cerro Ungüí	Testigo	80,12	10,05	10,12	Arenoso franco
	IB	74,41	18,14	8,02	Arenoso franco
	IM	72,02	18,10	10,09	Arenoso franco
	IA	62,09	30,12	8,30	Franco arenoso
Paquiestancia	Testigo	55,08	34,04	23,40	Franco arenoso
	IB	61,85	28,05	9,45	Franco arenoso
	IM	59,65	29,6	10,55	Franco arenoso
	IA	58,62	30,30	10,55	Franco arenoso

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 17

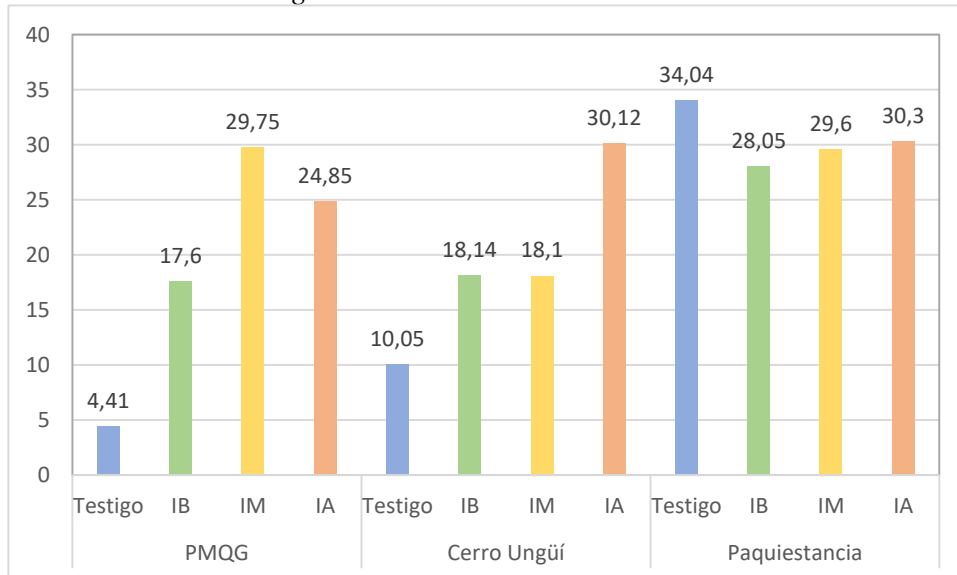
Variación del % de arena según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 18

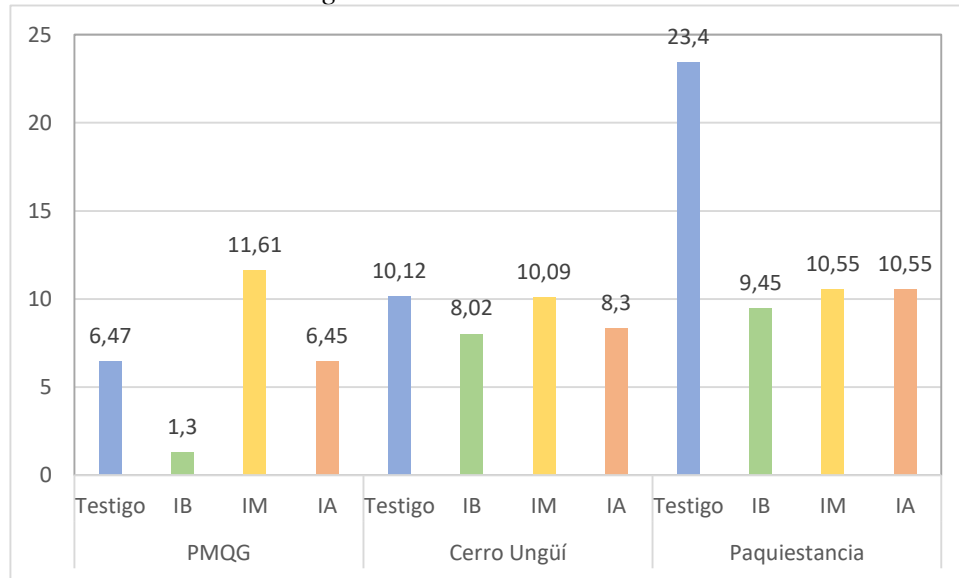
Variación del % de limo según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Figura 19

Variación del % de arcilla según la intensidad del incendio simulado.



Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Tabla 46.

Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito con respecto a la intensidad.

	Intensidad	% de arena	% de Limo	% de arcilla
Intensidad	1	0,16	0,16	0,53
% de arena	-0,84	1	0,04	0,31
% de Limo	0,84	-0,96	1	0,55
% de arcilla	0,47	-0,69	0,45	1

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Tabla 47.

Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Cerro Ungüí con respecto a la intensidad.

	Intensidad	% de arena	% de Limo	% de arcilla
Intensidad	1	0,07	0,12	0,79
% de arena	-0,93	1	0,01	0,47
% de Limo	0,88	-0,99	1	0,36
% de arcilla	-0,21	0,53	-0,64	1

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Tabla 48.

Método de correlación de Pearson de la textura del suelo del Páramo de Paquiestancia – Cayambe con respecto a la intensidad.

	Intensidad	% de arena	% de Limo	% de arcilla
Intensidad	1	0,77	0,65	0,39
% de arena	0,23	1	0,01	0,09
% de Limo	-0,35	-0,99	1	0,05
% de arcilla	-0,61	-0,91	0,95	1

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

En cuanto a la textura del suelo, en las muestras analizadas del PMGQ se observa un aumento en los porcentajes de arena, una disminución en los porcentajes de limo, mientras que los valores de arcilla no se comportan con un patrón definido de disminución por efecto del aumento de temperatura o viceversa.

En las muestras analizadas provenientes del CU se puede observar en general una disminución del porcentaje de arena conforme aumenta la intensidad de la quema, mientras que los porcentajes de arcilla y limo cambian sin patrón alguno según el tratamiento al que hayan sido sometidos.

En el Páramo de Paquiestancia existe variación de los porcentajes de arena, limo y arcilla después del tratamiento térmico, la textura del suelo es la misma (franco-arenosa) después de haber sido sometida a las tres intensidades, mientras que las muestras testigo corresponden a una textura de suelo franco.

Los datos de la textura del suelo varían con respecto a la ubicación donde ha sido tomada la muestra, existen ligeros cambios en los porcentajes de arena, limo y arcilla en el PMGQ, CE y en el PP. Estos cambios podrían atribuirse a la agregación de partículas finas, según Úbeda & Salas (1996) pág. 562 la textura del suelo después de incendios de intensidad media como alta, experimentan una disminución de la fracción de arena de un 8% y un aumento tanto de los limos como de las arcillas del 5% y el 3% respectivamente. Otro factor

que puede incrementar el porcentaje de arena en la textura del suelo según Betremieux, Le Borgne, & Monnier (1960) es la agregación de partículas finas gracias al hierro y aluminio fundidos por la temperatura a las que se ha sometido a las muestras.

Otro factor que puede modificar la textura del suelo es la meteorización, que es la descomposición y desintegración del suelo debido a factores externos como las altas temperaturas, u otros factores físicas químicas y biológicas.

5.3.4 Correlación de los elementos estudiados por el método de correlación lineal de Pearson.

El método de correlación de Pearson, expresa una relación entre dos variables cuantitativas, cuando una correlación es lineal. Según Palmer , Jiménez, & Montaña (2011) se precisa mediante una covarianza que existe entre dos variables aleatorias. La covarianza es un elemento de medida que usa Pearson para conocer la forma en el que las dos variables tienen una variación conjunta. Una vez obtenido conocida la covarianza, se obtiene una correlación “r” que se encuentra en un rango de 1 a -1, si los valores se aproximan a 1 o -1, indica que la asociación entre las dos variables es buena, mientras que, si los valores se aproximan al 0, significa que no existe correlación lineal.

5.3.4.1. Correlación por el método de Pearson de los parámetros del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ).

Tabla 49.

Método de correlación de Pearson de los parámetros del Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito (PMGQ) con respecto a la intensidad.

Parámetros	Intensidad	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Intensidad		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	0,96		0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO	-0,94	-0,82		1,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
N	-0,94	-0,81	1,00		1,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
P	0,96	0,96	-0,87	-0,86		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

K	0,91	0,98	-0,72	-0,72	0,94	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,90	0,97	-0,71	-0,71	0,90	0,96	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,95	0,99	-0,81	-0,81	0,98	0,98	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,00	0,96	-0,95	-0,95	0,95	0,89	0,89	0,94	1,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,98	0,99	-0,87	-0,87	0,96	0,96	0,95	0,98	0,98	1,00	0,00	0,00
Cu	0,95	0,99	-0,80	-0,79	0,94	0,97	0,96	0,98	0,94	0,98	1,00	0,00
Zn	0,96	0,96	-0,88	-0,88	0,94	0,89	0,93	0,94	0,97	0,96	0,95	1,00

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Según los datos del PMGQ alojados en la Tabla 49, se determinan las correlaciones entre intensidad de quema comparados con (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn). Las correlaciones más representativas son: Materia orgánica vs Intensidad (-0,94), Nitrógeno/Intensidad (-0,94), pH/Intensidad (0,96), Fosforo/Intensidad (0,96), Potasio/Intensidad (0,91), Calcio/Intensidad (0,90), Magnesio/Intensidad (0,95), Hierro/Intensidad (1,00), Manganeso/ Intensidad (0,98), Cobre/Intensidad (0,95) y finalmente Zinc/Intensidad (0,96). Se aprecia una correlación aceptable al ser cantidades aproximadas a 1 y a -1.

5.3.4.2. Correlación por el método de Pearson de los parámetros del cerro Ungüí.

Tabla 50.

Método de correlación de Pearson de los parámetros del cerro Ungüí con respecto a la intensidad.

Parámetros	Intensidad	pH	MO	N2	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Intensidad	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	0,99	1,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO	-0,95	-0,91	1,00	0,00	0,00	0,13	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
N2	-1,00	-0,99	0,94	1,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,98	0,95	-0,98	-0,98	1,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
K	0,76	0,81	-0,54	-0,76	0,66	1,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Ca	0,82	0,87	-0,61	-0,82	0,72	0,90	1,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Mg	0,92	0,95	-0,76	-0,91	0,84	0,85	0,97	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	1,00	0,99	-0,95	-1,00	0,98	0,74	0,80	0,90	1,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,99	0,99	-0,92	-0,99	0,96	0,80	0,83	0,91	0,99	1,00	0,00	0,00
Cu	0,90	0,94	-0,74	-0,90	0,82	0,85	0,95	0,97	0,89	0,91	1,00	0,00
Zn	0,91	0,94	-0,74	-0,91	0,82	0,93	0,94	0,95	0,90	0,94	0,94	1,00

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Según los datos del PMGQ alojados en la Tabla 48, se determinan las correlaciones entre intensidad de quema comparados con (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn). Las correlaciones más representativas son: Materia orgánica vs Intensidad (-0,95), Nitrógeno/Intensidad (-1,00), pH/Intensidad (0,99), Fosforo/Intensidad (0,98), Potasio/Intensidad (0,76), Calcio/Intensidad (0,82), Magnesio/Intensidad (0,92), Hierro/Intensidad (1,00), Manganeso/ Intensidad (0,99), Cobre/Intensidad (0,90) y finalmente Zinc/Intensidad (0,91). Se aprecia una correlación aceptable al ser cantidades aproximadas a 1 y a -1.

5.3.4.3. Correlación por el método de Pearson de los parámetros del Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP).

Tabla 51.

Método de correlación de Pearson de los parámetros del Páramo de Paquiestancia – Cayambe (PP) con respecto a la intensidad.

Parámetros	Intensidad	pH	MO	N2	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Intensidad	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO	-0,99	-0,99	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	-0,99	-0,98	0,97	1,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	1,00	1,00	-0,99	-0,99	1,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,85	0,86	-0,86	-0,75	0,82	1,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Ca	0,89	0,90	-0,91	-0,81	0,88	0,98	1,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Mg	0,92	0,93	-0,93	-0,85	0,90	0,97	0,96	1,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Fe	0,96	0,96	-0,94	-0,99	0,97	0,68	0,74	0,80	1,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,98	0,99	-0,98	-0,93	0,97	0,92	0,96	0,97	0,89	1,00	0,00	0,00
Cu	0,97	0,98	-0,96	-0,95	0,97	0,88	0,91	0,92	0,92	0,96	1,00	0,00
Zn	0,95	0,95	-0,96	-0,89	0,93	0,93	0,95	0,97	0,84	0,98	0,92	1,00

Elaborado por: Mena L.– Ortega A.

Según los datos del PMGQ alojados en la Tabla 51, se determinan las correlaciones entre intensidad de quema comparados con (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn). Las correlaciones más representativas son: Materia orgánica/Intensidad (-0,99), Nitrógeno/Intensidad (-0,99), pH/Intensidad (1,00), Fosforo/Intensidad (1,00),

Potasio/Intensidad (0,85), Calcio/Intensidad (0,89), Magnesio/Intensidad (0,92), Hierro/Intensidad (0,96), Manganeso/ Intensidad (0,98), Cobre/Intensidad (0,97) y finalmente Zinc/Intensidad (0,95). Se aprecia una correlación aceptable al ser cantidades aproximadas a 1 y a -1.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Para la simulación experimental de incendios de IB, IM, e IA se utilizó la metodología propuesta por (Cerdá & Jordán, 2010, págs. 317-318), obteniéndose como principal resultado el cambio de los tiempos para cada tipo de suelo e intensidad. Es decir, la única variable que se modifica es el tiempo teniendo los siguientes resultados: el Cerro Ungüí necesita 299 segundos para alcanzar la IA, 138 segundos para IM y 30 segundos para llegar a IB, las muestras del suelo proveniente del Páramo Paquiestancia alcanzan la IA en 305 segundos, en 173 segundos la IM y 25 segundos la IB, finalmente los suelos extraídos del Parque Metropolitano Guanguiltagua alcanzan la IA en 260 segundos, la IM en 159 segundos y la BI en 20 segundos.
- El % de pérdida de sustrato se utiliza como un criterio de reproducibilidad analítica cuando se realiza simulación de incendios a nivel de laboratorio. En nuestra investigación los suelos del Parque Metropolitano Guanguiltagua y del Páramo de Paquiestancia tienden a disminuir la pérdida de sustrato mientras la temperatura de exposición aumenta, los valores del porcentaje de pérdida de sustrato de muestras de suelo del páramo de Paquiestancia y del parque metropolitano Guanguiltagua en intensidad baja es de 7,93% y 9,20% a una $T= 130^{\circ}\text{C}$, disminuye a 7,34% y 8,01% respectivamente para llegar a $T= 700^{\circ}\text{C}$ en simulación al incendio alta intensidad, mientras que las muestras

de suelo del CU no se observa este comportamiento al tener en IB un valor de 7,98% menor valor que en IA de 7,99%.

- La investigación concluye que la acción del fuego afecta directamente los suelos estudiados. En el PMGQ, CU y PP, los incendios forestales afectan la textura del suelo, en total de las muestras analizadas luego de la simulación cambian sus parámetros originales, es así que en materia orgánica existe una pérdida en el parque metropolitano Guanguiltagua de 98,01%, en el cerro Ungüí de 95,53% y en el páramo de Paquiestancia de 75,36%, el Nitrógeno pierde en el parque metropolitano Guanguiltagua el 97,72%, en el cerro Ungüí el 96,29% y en el páramo de Paquiestancia de 88,88% al alcanzar la IA. Mientras que el pH aumento en el parque metropolitano Guanguiltagua 1,57 unidades, en el cerro Ungüí de 1,42 unidades y en el páramo de Paquiestancia de 2,88 unidades. El fósforo, potasio, calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso y zinc experimentan un incremento de la concentración por acción del fuego.

6.2. Recomendaciones

- De la experimentación realizada se puede observar que los metales aumentan su disponibilidad en la superficie de los suelos, lo que puede llevar a que las fuentes de agua se contaminen, se recomienda evaluar metales pesados para determinar posible contaminación ambiental como un impacto negativo de los incendios forestales, elementos como el cobre, fosforo entre otros están regularizados por la legislación ambiental del Ecuador.
- Se recomienda continuar con las investigaciones sobre la temática de incendios forestales debido a que el país no cuenta con información suficiente sobre esta problemática.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bastidas, E., & Toaquiza, D. (2017). *Evaluación de la Capacidad de Sorción de Potasio y Cobre en dos tipos de suelos quemados experimentalmente en el laboratorio simulando Incendios Forestales. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Betremieux, R., Le Borgne, E., & Monnier, G. (1960). *Evolution de certaines propriétés du sol sous l'influence du chauffage*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris.
- Biaggi, C., & Valeiro, A. (2011). Problemas ambientales, oportunidades de desarrollo territorial. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Famaillá, Tucumán - Argentina.
- C. Lacasta, M. B. (2006). Efecto de la Textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 4-6.
- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Mendeleev*, XIX(1), 44-53.
- Cerdá, A., & Jordán, A. (2010). Actualización en Métodos y Técnicas para el Estudio de los Suelos Afectados por Incendios Forestales. Valencia.
- Cerdà, A., Merche, B., & Mataix-Solera, J. (2012). *Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la Cuenca Mediterránea: Revisión bibliográfica*. Obtenido de Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- De las Heras, J., Herranz, J. M., & Martínez, J. J. (1991). *Impacto Ecológico de los Incendios forestales*. Escuela Universitaria Politécnica de Albacete, Catedra de Botánica Forestal y Ecología y Medio Ambiente, Universidad de la Castilla - La Mancha.
- FAO Sala de Prensa . (27 de Marzo de 2006). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación* . Obtenido de <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>
- Fernández, C., & Vega, J. A. (2011). *Erosión después de Incendios forestales*. Centro de Investigación Forestal-Lourizán., Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. Apdo. 127. 36080. Pontevedra., Boletín del CIDEU 10: 23-36: ISSN 1885-5237.
- 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 aplicados a la remediación de sitios contaminados* (Primera ed. ed.). DF, México: Deporte Mexicano.
- 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*. Sevilla, Departamento de Química Agrícola y Edafología, Facultad de Ciencias (Universidad de Córdoba) .
- González Parra, J., Fernández Bermejo, C., & Iglesias López, M. T. (1993). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*Pinus*

- pinaster), en Renas de San Pedro (Avila). Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia.
- González Ulibarry, P. (24 de ABRIL de 2017). Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- 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. Quito, Pichincha, Ecuador: NTE INEN 0696.
- INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO. (Octubre de 2013). Memoria Técnica Cantón Cayambe. *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 25 000*. Ecuador: Geopedología.
- INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO. (Septiembre de 2013). Memoria Técnica Cantón Cayambe. *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 25 000*. Ecuador: Geopedología.
- Larios Bayona, M. (21 de Julio de 2014). *Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del Río Turia*. Universidad de Lleida – Universidad Autónoma de Barcelona – Universidad Pública de Navarra, Barcelona.
- Neary, D., Klopatek, C., Debano, L., & Ffolliott, P. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*.
- Ortega, B., & Rodríguez, D. (2007). Supervivencia y crecimiento iniciales y concentración de nutrientes de *Pinus Hartwegii* plantado en localidades quemadas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), 115–124.
- Palmer, A., Jiménez, R., & Montaña, J. (1 de Enero de 2011). Tutorial sobre el coeficiente de correlación lineal de Pearson en Internet. *psicología.com*, 32.
- Pellegrini, A. E. (2017). Macronutrientes del suelo.
- Pérez, C. A., López, J., & Vela, G. (2007). Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en el volcán El Pelado, Centro de México. 7-20. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*.
- Ramos, X. (2019). *62.000 hectáreas de bosques afectadas por incendios desde 2012 en Ecuador* | *Ecología* | *Noticias* | *El Universo*. Obtenido de https://www.mendeley.com/catalogue/62000-hect%C3%A1reas-bosque-afectadas-por-incendios-desde-2012-en-ecuador-ecolog%C3%ADa-noticias-el-univers/?fbclid=IwAR3AVm1jJ-joAqyBVftr8PHy3RYMHhKwLhRR1r_92mmSqUexeSUKYFgUNFU
- Rosero Cuesta, J., & Osorio Giraldo, I. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa- Revista Científica de la Facultad de Ingeniería*.

- Ross, M. (2004). *Importancia del magnesio para altos*. Coordinador Agrónomo para América Latina.
- Rucks, L.; Garcia, F.; Kapla, A.; Ponce, J.; Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/323906391_Propiedades_fisicas_de_los_suelos_un_recurso_natural_prestador_de_servicios_biologicos_y_ambientales
- Salas, J., & Cocero, D. (2004). *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Madrid, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Santiago Garnica, J. A. (marzo de 2005). *Determinación del uso potencial de la tierra con fines Agrícolas en el Municipio Bolívar, Estado Táchira*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Departamento de Ciencias Sociales.
- Sanzano, I. A. (22 de Septiembre de 2014). *El Potasio del suelo*. Obtenido de slideshare: https://es.slideshare.net/MyF_IPA/el-potasio-del-suelo
- SIGTIERRAS, Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. (2017). Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. Quito, Ecuador . Quito, Ecuador.
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. *Décima segunda Edición*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.
- Suñer, L., & Galantini, A. (2015). Efecto de la textura sobre los contenidos y distribución del fósforo en suelos de la región Semiárida Pampeana. *Comisión de Investigaciones Científicas*. Obtenido de CONICET CERZOS: <http://www.boletin.cerzos-conicet.gob.ar/index.php/articulos-27/efecto-de-la-textura-sobre-los-contenidos-y-distribucion-del-fosforo-en-suelos-de-la-region-semiarida-pampeana>
- Torri, S. I., Urricariet, S., & Lavado, R. (2016). Micronutrientes y Elementos Traza. *ResearchGate*, 1.
- Tothill, J., & Shaw, N. (1968). Temperatures under fires in bunch spear grass pastures of south-east Queensland. *Journal Australian Institute of Agricultural Sciences*, 94-97.
- TRAXCO. (10 de Diciembre de 2009). Obtenido de <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- Úbeda, X. (2001). Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *EDAFOLOGÍA*, 46.
- 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.
- Ulloa, C., Pazmiño, K., Cárdenas, D., & Arcos, C. (2014). Desarrollo De Repelencia Al Agua En Suelos Afectados Por Incendios, En Una Zona Del Parque Metropolitano Del Distrito Metropolitano De Quito. *La Granja*, 19, 34.

- Wani, A. A. (April de 2015). (I. Forester, Ed.) Obtenido de Effect of Forest Fire on Soil Nutrients in Blue Pine (*Pinus wallichiana* A.B. Jackson) Ecosystems: https://www.researchgate.net/profile/Akhlaq_Wani2
- Wong González, J. C., & de Lourdes Ville, M. (2007). *Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112007000100006&script=sci_arttext

8. ANEXOS

Anexo 1. Recolección de muestras de suelo en el Parque Metropolitano Guanguiltagua Quito, Páramo de Paquiestancia – Cayambe y Cerro Ungüí.



A) Recolección de muestras del Parque Metropolitano de Quito.



B) Recolección de muestras del Páramo de Paquiestancia – Cayambe.



C) Recolección de muestras del Cerro Ungüí.

Anexo 2. Preparación del suelo para proceder con el Método de quema experimental.



A) Método de Tamizado

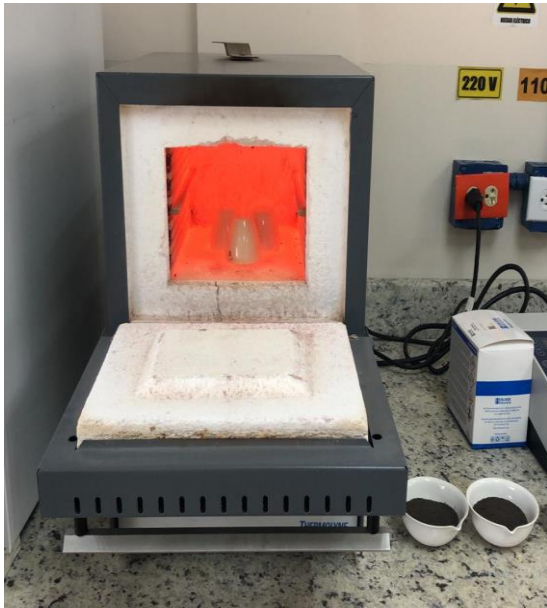


B) Secado de las muestras a Temperatura Ambiente



C- D) Secado de las muestras a Temperatura Ambiente

Anexo 3. Simulación de incendios forestales de baja, media y alta intensidad en las muestras de suelo seleccionadas. (Método de quema experimental).



A) Pre calentamiento del horno tipo mufla a 1000° C.



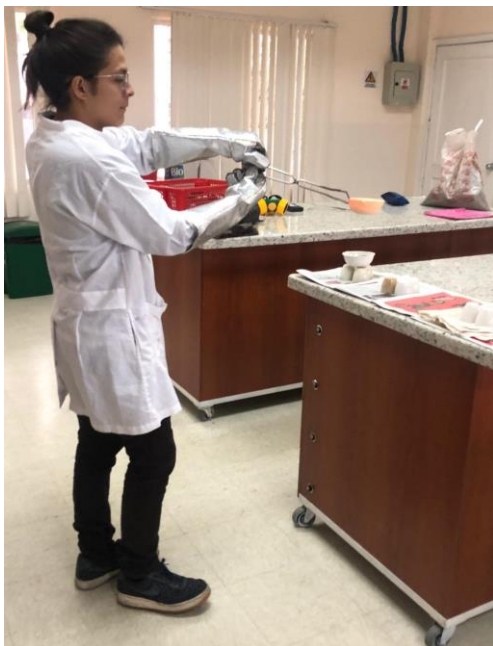
B) Lectura de pesos de muestras pre quema.



C- D) Medición de la temperatura del suelo durante la quema.



E- F) Extracción de las muestras ya incineradas.



G) Enfriamiento previo después de la extracción.

Anexo 4. Muestras listas para el análisis y resultados pertenecientes a AGROCALIDAD.



A) Muestra incinerada y lista para ser analizada en AGROCALIDAD.