

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

**EFFECTO DEL CALENTAMIENTO DEL SUELO EN LA CAPACIDAD DE
SORCIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS SOBRE METALES Y CAMBIOS EN
LA REPELENCIA AL AGUA SIMULANDO INCENDIOS DE BAJA, MEDIANA Y
ALTA INTENSIDAD EN LA RESERVA ECOLÓGICA DEL ANTISANA.**

AUTOR:

LUIS FERNANDO CARRERA ANDRANGO

TUTOR:

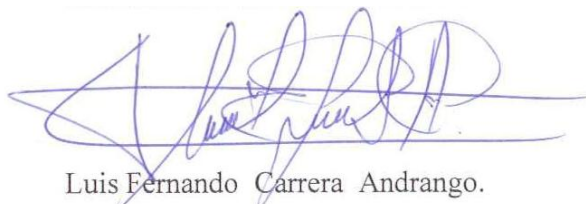
CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito, Enero, 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Luis Fernando Carrera Andrango con documento de identificación N° 050316613-4, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo titulación intitulado: “EFECTO DEL CALENTAMIENTO DEL SUELO EN LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS SOBRE METALES Y CAMBIOS EN LA REPELENCIA AL AGUA SIMULANDO INCENDIOS DE BAJA, MEDIANA Y ALTA INTENSIDAD EN LA RESERVA ECOLÓGICA DEL ANTISANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO AMBIENTAL en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Luis Fernando Carrera Andrango.

CI: 0503166134

Fecha: Enero, del 201

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo experimental “EFECTO DEL CALENTAMIENTO DEL SUELO EN LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS SOBRE METALES Y CAMBIOS EN LA REPELENCIA AL AGUA SIMULANDO INCENDIOS DE BAJA, MEDIANA Y ALTA INTENSIDAD EN LA RESERVA ECOLÓGICA DEL ANTISANA.” realizado por Luis Fernando Carrera Andrango obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Enero, 2017


Carlos Andrés Ulloa Vaca
CC:1716457971

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Hipótesis.....	4
2. Objetivos.....	5
2.1 Objetivo General	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3. Fundamentación Teórica.....	6
3.1 Los incendios forestales y su impacto en el suelo.....	6
3.2 El fuego.....	6
3.3 El suelo.....	6
3.4 Incendios Forestales.....	7
3.4.1 Elementos de un incendio forestal.....	8
3.4.2 Intensidad de los Incendio Forestales	9
3.5 Repelencia al Agua del Suelo.....	10
3.6 Sustancias Húmicas	10
3.6.1 Sorción.....	12
3.6.2 Mecanismos de sorción.....	13
3.6.3 Efecto del pH.....	13
3.6.4 Tiempo de contacto.....	14
3.6.5 Isotermas de Equilibrio.....	14
3.7 Parámetros físico-químicos del Suelo.....	16
3.7.1 Materia orgánica.....	16
3.7.2 Humedad.....	17
3.7.3 Textura	17
3.7.4 pH.....	17
3.7.5 Conductividad eléctrica.....	18
3.7.6 Nitrógeno.....	18
3.7.7 Repelencia al agua.....	18

3.7.8	Carbono orgánico.....	18
3.8	Afectación de los parámetros físico-químicos (indicadores) del suelo a causa de incendios forestales.....	19
3.8.1	Afectación de los incendios forestales sobre la humedad del suelo.....	19
3.8.2	Afectación de los incendios forestales sobre la textura del suelo.	19
3.8.3	Afectación de los incendios forestales sobre la repelencia al agua del suelo.	20
3.8.4	Afectación de los incendios forestales sobre la materia orgánica presente en suelo.....	20
3.8.5	Afectación de los incendios forestales sobre el contenido de nitrógeno en el suelo.	21
3.8.6	Afectación de los incendios forestales sobre el pH del suelo.	21
3.8.7	Afectación de los incendios forestales sobre la conductividad eléctrica del suelo.....	22
4.	Materiales y métodos.....	23
4.1	Fase de Campo.	23
4.2	Fase de laboratorio.	23
4.3	Metodología.....	25
4.3.1	Toma de muestras.	25
4.3.2	Tratamiento Térmico (Simulación de Incendio).....	26
4.3.3	Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno.	28
4.3.4	pH y Conductividad eléctrica.....	29
4.3.5	Textura.	30
4.3.6	Humedad.	30
4.3.7	Determinación de la repelencia al agua.	31
4.3.8	Sorción.	31
4.3.9	Determinación del pH óptimo.....	32

4.3.10	Determinación de las isothermas (cantidad máxima de sorción) en el proceso de remoción de Calcio.....	34
4.4	Tratamiento estadístico.....	35
5.	Resultados y Discusión.....	38
5.1	Resultado de la variación de la Temperatura (Tratamiento Térmico), en las muestras con relación al tiempo de exposición durante la simulación de incendios de baja, media y alta intensidad.....	38
5.2	Carbono Orgánico (%)	39
5.3	Nitrógeno Orgánico (%).....	42
5.4	Materia Orgánica (%).....	44
5.5	Humedad (%).	47
5.6	pH.....	49
5.7	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	52
5.8	Textura.....	54
5.9	Repelencia al Agua.....	55
5.10	Sorción.....	59
6.	CONCLUSIONES.....	66
	REFERENCIAS.....	67
	ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Descripción del ángulo que se forma cuando entra en contacto un sólido (suelo) con el agua.	10
Figura 2. Descripción de los procesos de Adsorción, Absorción e intercambio iónico a través de la superficie del sorbente sólido.....	13
Figura 3. Proceso de tamizado de las muestras de suelo.....	25
Figura 4. Estufa (Horno eléctrico) utilizado para el tratamiento térmico en la muestras de suelo.	26
Figura 5. Proceso de oxidación y digestión (reposo de 30 minutos) de la muestras de suelo con dicromato de potasio y ácido sulfúrico.	28
Figura 6. Titulación de las muestras con sulfato amónico férrico e identificación de viraje de color.....	28
Figura 7. Determinación de pH y conductividad de las muestras antes y después del tratamiento térmico.	30
Figura 8. Determinación de la textura en las muestras de suelo antes y después del tratamiento térmico.	30
Figura 9. Determinación de humedad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	31
Figura 10. Determinación de la repelencia al agua de las muestras de suelo aplicando los métodos WDTP Y TPE.	31
Figura 11. Proceso de determinación del contenido de calcio en las muestras de suelo: A) agitación, B) Medición del pH, C) filtración, D) Almacenamiento de las muestras, D) lectura en el equipo de absorción atómica. Antes y después de la aplicación del tratamiento térmico.	34
Figura 12. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo después de aplicar el tratamiento (Temperatura alcanzada).	39
Figura 15. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto a la materia orgánica.	46
Figura 16. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto a la Humedad.	48
Figura 19. Cantidad de metal (calcio) absorbido en las muestras de suelo sin quemar con relación al tiempo de contacto.....	60
Figura 20. Cantidad de metal (calcio) absorbido en las muestras de suelo con tratamiento térmico de baja intensidad con relación al tiempo de contacto.	60

Figura 23. Diagrama de cajas entre las medianas de los diferentes tratamientos en las muestras de suelo en el proceso de sorción..... 63

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Materiales utilizados para la fase de campo.....	23
Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos utilizados para el análisis físico-químico en el laboratorio.	23
Tabla 3 Relación Tiempo-Temperatura.	35
Tabla 4. Resultados de Análisis.	36
Tabla 5 Relación Tiempo vs Temperatura muestras de la REA.	38
Tabla 6. Resultado de análisis de Carbono Orgánico en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	40
Tabla 7. Resultado de análisis de Nitrógeno Orgánico en las muestras antes y después del tratamiento térmico.....	42
Tabla 8. Resultado de análisis de Materia Orgánico en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	45
Tabla 9. Resultado de análisis de la Humedad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	47
Tabla 10. Resultado de análisis de pH en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	50
Tabla 11. Resultado de análisis de Conductividad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.	52
Tabla 12. Resultados y categorización de la textura después de la aplicación del tratamiento térmico.	54
Tabla 13. Grado de repelencia del suelo al agua antes y después de la aplicación de los tratamientos térmicos.....	56
Tabla 14. Concentración inicial de calcio en las muestras de suelo antes y después de la aplicación del tratamiento térmico.	59
Tabla 15. Resultado del modelo de Langmuir.	64
Tabla 16. Resultado del modelo de Freundlich.....	64

RESUMEN

El Ecuador es un país que cuenta con diversidad de ecosistemas entre ellos se encuentran los páramos andinos los mismos que albergan una alta biodiversidad, además de ser considerados como una gran fuente de agua acumulada. Las alteraciones en estos ecosistemas se han ido incrementando con el pasar de los años principalmente por la actividad del hombre por ejemplo la deforestación, agricultura explotación de minerales entre otras. En los últimos tiempos una amenaza que ha ido tomando fuerza en estos ecosistemas son los incendios forestales en su mayoría provocado por la mano del hombre. En la presente investigación se aborda el efecto del fuego sobre la repelencia al agua del suelo y en la capacidad de sorción (reabsorción) de metales (calcio), realizando una simulación de incendios de diferentes intensidades en muestras extraídas de la Reserva Ecológica del Antisana (REA). En el proceso de la investigación también se evaluaron parámetros físicos-químicos como el pH, conductividad, materia orgánica, carbono orgánico entre otras para determinar las condiciones del suelo después de un incendio lo cual también ayudaron a comprender la variación de la repelencia y sorción. Se determinó que la reducción de ciertos parámetros como por ejemplo la materia orgánica influye en la variación de la repelencia la misma que varió de un suelo Muy Fuertemente Hidrofóbico a un suelo Fuertemente Hidrofóbico en las muestras sometidas al tratamiento térmico de mediana y alta intensidad. Con respecto a la sorción se identificó que existe una leve variación ya que las matrices (muestras de suelo) tienen mayor sorción después del tratamiento térmico con un breve despunte en las muestras a las que se aplicó el tratamiento térmico de alta intensidad de acuerdo a la investigación la sorción incrementa cuando existe mayor concentración del metal y es lo que sucede con el suelo después de un incendio la concentración del calcio incrementa.

ABSTRACT

Ecuador is a country with diverse ecosystems including the Andean highlands are the same as harboring high biodiversity, besides being considered as a source of stored water. Alterations in these ecosystems have been increasing with the passing of the years mainly by human activities such as deforestation, agriculture, mineral exploitation among others. In recent times a threat that has been gaining strength in these ecosystems are forest fires mostly caused by human hands. In this research the effect of fire on the water repellency of the soil and the sorption capacity (resorption) metals (calcium) is approached, making a fire simulation of different intensities in samples taken from the Ecological Reserve Antisana (REA). In the process of research physical-chemical parameters such as pH, conductivity, organic matter, organic carbon among others they were also evaluated to determine soil conditions after a fire which also helped to understand the variation of repellency and sorption. It was determined that the reduction of certain parameters such as organic matter influences repellency variation that ranged from the same soil to a very strongly Hydrophobic Hydrophobic Strongly soil samples subjected to the heat treatment of medium and high intensity. With regard to sorption it was identified that there is a slight variation because arrays (soil samples) have greater sorption after heat treatment with a short blunting in the samples to which the heat treatment of high intensity is applied according to the sorption research increases when higher concentration of the metal exists and is what happens with the ground after a fire calcium concentration increases.

1. Introducción.

En el transcurso de los últimos años la provincia de Pichincha y principalmente su capital el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ha sido afectado por una serie de incendios forestales, la mayoría de los mismos provocados por la mano del hombre evidenciado por ejemplo: Reducción de los bosques, zonas protegidas y áreas verdes de la ciudad. Estos eventos tienen lugar principalmente en la época de verano en la que el calor es intenso y con la ayuda de los fuertes vientos dan lugar a las condiciones propicias para el inicio y propagación de los incendios.

Los incendios de vegetación, en la mayoría de los casos, no son un problema, aun menos, una necesidad sentida para las comunidades. Esta aseveración obedece a la experiencia obtenida en el diseño de algunos programas y proyectos dirigidos a la conservación de cuencas y algunos al desarrollo rural sostenible, siguiendo el enfoque de planificación participativa (Molina., 2006). Por otra parte los incendios forestales son los causantes de la reducción de biodiversidad en los suelos y daños a los espacios privados y públicos como lo describe el Programa de Estudios Socioambientales (FLACSO, 2012).

Tomando en cuenta lo detallado anteriormente muchas entidades de carácter estatal y municipal como el Cuerpo de Bomberos, la Unidad de Gestión De Información Ambiental y desde luego el Ministerio del Ambiente hacen esfuerzos para la elaboración de planes de estudios principalmente para la prevención y la gestión de incendios forestales enfocándose en métodos y acciones de contingencia.

De acuerdo a la Secretaría del Ambiente del Municipio de Quito indica que en la ciudad se quemaron 2300 hectáreas de bosque en el verano del 2015, superando en 31% a las registradas en el 2014 donde se registraron 1550 hectáreas afectadas. Las

zonas más impactadas durante el año 2015 fueron: el bosque de Ilaló, con 170 hectáreas, Puembo, El Auqui, La Libertad, La reserva ecológica del Antisana, La Pulida y San José de Minas donde se quemaron 500 hectáreas. Por biodiversidad la afectación se registró en las laderas y quebradas de Puembo y El Auqui.

En un resumen general, en el suelos los incendios son capaces de provocar: Pérdida de nutrientes por volatilización durante la combustión, erosión, o por lixiviación posterior. Algunos entes de investigación como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas pronostica que el tiempo aproximado en que un bosque que ha sido devastado por un incendio pueda restaurarse es de 30 años; Además debemos tomar en cuenta que muchos de los efectos químicos, físicos y biológicos post-incendio sobre el suelo pueden ser irreversibles según (FUEGORED, 2007), ya que el impacto del incendio sobre el suelo se puede diferenciar a medida de la profundidad por ejemplo en los primeros 10 centímetros se puede observar erosión y cambios en la compactación esto deriva en inundaciones ya que la escorrentía sobre el suelo aumenta. La composición el suelo también tiene alteraciones con la pérdida de carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno, en su calidad también se ve afectado en muchos de los casos con el aumento de calcio y desaparición de microorganismos los cuales ayudan a la descomposición de la materia orgánica (Gonzalea-Vila, y otros, 2009).

Cabe destacar que los ecosistemas de páramos son muy frágiles y la presencia de un incendio en el mismo tendrá un alto impacto en su estructura y probablemente no volverá a su estado original.

No es suficiente tomar acciones después de los incendios sobre el aspecto físico de las zonas afectadas como reforestaciones, es importante tratar el tema de la

degradación del suelo que en muchos de los casos pasa desapercibido; recordemos que sin una buena calidad de suelo no tendremos vegetación. Este es el punto de partida que motiva la presente investigación para dar a conocer brevemente los cambios que se producen en suelos afectados por incendios forestales además servirá de referencia para próximos estudios relacionados al tema.

Por tanto se planteó la evaluación de muestras de suelo de páramo (Reserva Ecológica del Antisana) simulando incendios de baja, media y alta intensidad a nivel de laboratorio para luego realizar un análisis químico sobre algunos parámetros que son considerados como indicadores de calidad del suelo como por ejemplo: carbono orgánico, textura, nitrógeno orgánico, materia orgánica, humedad, pH conductividad eléctrica, capacidad de sorción y repelencia al agua.

El presente trabajo de investigación se realizó de dos partes: la primera fue el trabajo de campo el cual se llevó a cabo en la Reserva Ecológica del Antisana (REA). La REA está situada en la vertiente oriental de la Cordillera Real de Los Andes, dominada por uno de los volcanes más importantes de los Andes Ecuatorianos, el Antisana (5.758 msnm), del cual toma el nombre. Esta región, incluye las cuencas altas de los ríos Coca y Napo, que drenan hacia el noreste y sureste, respectivamente, altitudinalmente se enmarca entre los 5.758 msnm (volcán Antisana) y los 1.200 msnm (valle del río Cosanga, con una superficie de 119.573,6 ha.) (Planimetría obtenida en el estudio de tenencia de la tierra, Proyecto INEFAN-GEF 1999). Administrativamente, la reserva forma parte de la Provincia del Napo e incluye las parroquias de Papallacta, Cuyuja, Baeza, Cosanga (cantón Quijos) y la de Cotundo (Cantón Archidona). Se halla rodeada por varias áreas protegidas: la Reserva Ecológica Cayambe-Coca, por el lado nororiental, el Parque Nacional Sumaco - Napo Galeras por el lado oriental y los Bosques Protectores: Antisana y Tambo por

el lado occidental y suroccidental y el Bosque Protector Guacamayos en el flanco sur. La REA Y su área de influencia, están circunscritas dentro de las siguientes coordenadas geográficas: 77° 45' a 78° 23' de longitud oeste y, 00° 17' a 00° 49' de latitud sur (Fundación-Antisana, 2002)

Por otra parte la fase de laboratorio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur (Laboratorio de Química) y el Girón (Laboratorio de Biotecnología), la cual está ubicada en la Av. Rumichaca y Morán Valverde y Av. 12 de Octubre e Isabela Católica respectivamente. El presente trabajo de investigación de fue desarrollado en el periodo Octubre 2015-Agosto 2016.

1.1 Hipótesis.

El calentamiento del suelo producido durante un incendio forestal modifica la hidrofiliidad del suelo, alterando la repelencia al agua.

El calentamiento del suelo producido durante un incendio forestal modifica la capacidad de sorción de las sustancias húmicas sobre metales del suelo.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo General

Estudiar el efecto del calentamiento del suelo sobre la repelencia al agua y sobre la capacidad de sorción de metales, en experimentos en laboratorio simulando incendios de baja, mediana y alta intensidad, en la reserva ecológica del Antisana.

2.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar los cambios Físico-Químico (Humedad, Textura, pH, Conductividad, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, y Nitrógeno) en las muestras recolectadas en la (REA) antes y después de la quema de las mismas.
- Identificar la variación de la repelencia al agua del suelo del después de la simulación de incendios de baja, mediana y alta intensidad en las muestras tomadas de (REA).
- Conocer el cambio en la capacidad de sorción del suelo sobre metales (Calcio) después de la simulación de incendios de baja, media y alta intensidad en las muestras de suelo tomadas de la Reserva Ecológica del Antisana (REA).

3. Fundamentación Teórica.

3.1 Los incendios forestales y su impacto en el suelo.

Los incendios forestales se han vuelto desde siempre un factor ecológico significativo actuando como agente modelador de la estructura y tipología de los diferentes ecosistemas. La alteración de la frecuencia y régimen de incendios provoca que los daños originados sobre el ecosistema sean en muchos de los casos irreversibles (Mataix J. S., 1999). Para tratar la problemática de los incendios forestales, debemos partir de un antecedente fundamental, y es que el fuego, en los ecosistemas terrestres, deben ser considerados como un factor ecológico natural (Mataix & Guerrero., 2007).

3.2 El fuego.

El fuego, como fenómeno natural, ha sido parte del medio ambiente mucho antes de que el hombre apareciera. Es por ello que durante el Terciario fue uno de los factores principales que contribuyeron a moldearlo, junto con el clima, la flora y vegetación.

Podemos definir al fuego como reacción de combustión en la que se ve reflejada la emisión de calor la misma que es acompañada de humo, de llamas o de ambas (Puccio, 2004).

3.3 El suelo.

El suelo conforma la parte sólida del nuestro planeta compuesto por material rocoso fraccionado, materia orgánica y elementos originados del metabolismo de los microorganismos, se podría decir que el suelo no solo es el soporte físico además de eso desempeña un papel importante como el de mantener la calidad del aire, almacenamiento de agua, en él se producen los alimentos y contribuye con nutriente para plantas y otros seres vivos. El suelo es un componente básico del ecosistema

forestal. Puede sufrir cambios directos producidos por el calentamiento, en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación microclimática después de la pérdida de la cubierta vegetal, de la cubierta de cenizas, así como una mayor susceptibilidad a la erosión, tanto hídrica como eólica (Mataix J. S., 1999).

El suelo está conformado principalmente de cuatro componentes que le permiten un intercambio permanente de moléculas. La concentración promedio de cada uno de estos componentes varía según el tipo de suelo (García, Gil, Hernández, & Trazar., 2003), Lo más común es entrar en proporciones de 45% de minerales y materia inorgánica (limo, arena y arcilla), 25% de agua, 25% de aire y la materia orgánica en un 5%(macroorganismos y microorganismos).

3.4 Incendios Forestales.

Los incendios constituyen desde el punto de vista ecológico una perturbación en el ecosistema además se traduce en una pérdida de individuos o biomasa que se produce de forma repentina o accidental.

Un factor importante de las perturbaciones es la liberación de recursos. Entre ellos, el más visible es la expansión del espacio físico. De esta manera se establecen nuevas relaciones entre los organismos sobrevivientes o que acceden al área modificada. Después de la perturbación se da un proceso de recuperación del ecosistema, el cual se mide en términos de resiliencia o rapidez a la que el ecosistema alcanza los parámetros iniciales (Llorent, 2012).

Según (Carballas., 2004), quien figura como miembro del Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, existen dos tipos de incendios; los Incendios controlados los mismos que se describen como: la aplicación equilibrada

del fuego en una área preestablecida la misma que es delimitada, además de que las condiciones climáticas son conocidas y consideradas de bajo riesgo, y siguen objetivos planteados para el manejo de los recursos forestales. Y los incendios incontrolados que a su vez se subdividen en tres grupos: 1) incendios de baja intensidad caracterizados por la presencia de ceniza negra la cual es producto de la quema de los restos vegetales. La temperatura que se puede identificar entre los primeros centímetros de profundidad del suelo afectado por el mismo oscila entre 100°C y 250 °C) los incendios de media intensidad donde se puede observar la desaparición de los restos vegetales superficiales y se identifica la quema parcial de la materia orgánica, en este tipo de incendios se puede determinar que a un centímetro de profundidad de suelo afectado la temperatura alcanzada por el mismo oscila entre 200 °C y 300 °C a tres centímetros de profundidad la misma disminuye a 60 °C y 80 °C) los incendios de alta intensidad en los cuales se puede evidenciar la combustión total de los combustibles presentes en la superficie y se aprecia la presencia de ceniza blanca, la capa superficial la temperatura puede alcanzar valores entre 500 °C y 700 °C a los dos centímetros de profundidad la misma disminuye a 350 °C y 450 °C a cinco centímetros de profundidad se pueden tener temperaturas de 100 °C.

Después de que el suelo ha sido afectado por un incendio forestal este experimenta la pérdida de elementos minerales y nutrientes, impermeabilidad, erosión, cambios en su compactación y desde luego la pérdida de la biodiversidad microbiana que deriva en la disminución en la calidad del suelo.

3.4.1 Elementos de un incendio forestal.

En un incendio están presentes tres elementos principalmente, los que constituyen el triángulo de fuego y son los siguientes:

- Combustible.- el cual está constituido de toda sustancia o materia que pueda arder, esta puede presentarse en estado líquido, sólido o gaseoso para el caso de los incendios forestales se trata de la vegetación disponible en el espacio físico.
- El oxígeno.- el mismo está presente en la atmósfera en un 21%.
- Fuente de calor.- hace referencia a la chispa o energía necesaria para el inicio del incendio forestal.

(Carballas., 2004), indica que La vegetación presente en los bosques (árboles vivos, sotobosque y matorrales), así como la materia muerta que se encuentran disponible en la superficie del suelo en las formaciones vegetales e incluso, la materia orgánica presente en el suelo, son parte del combustible que prácticamente se encuentra en grandes proporciones en los ecosistemas de bosques.

Cárdenas & Zapata (2015), acotan que el combustible en los incendios pueden diferenciarse como ligeros (hierbas, hojas, acículas), pesadas (troncos, ramas y raíces) y verdes (plantas vivas con su follaje) las que presentan características diferentes al hora de la combustión en un incendio como por ejemplo poder calorífico, combustibilidad, temperatura de ignición etc.

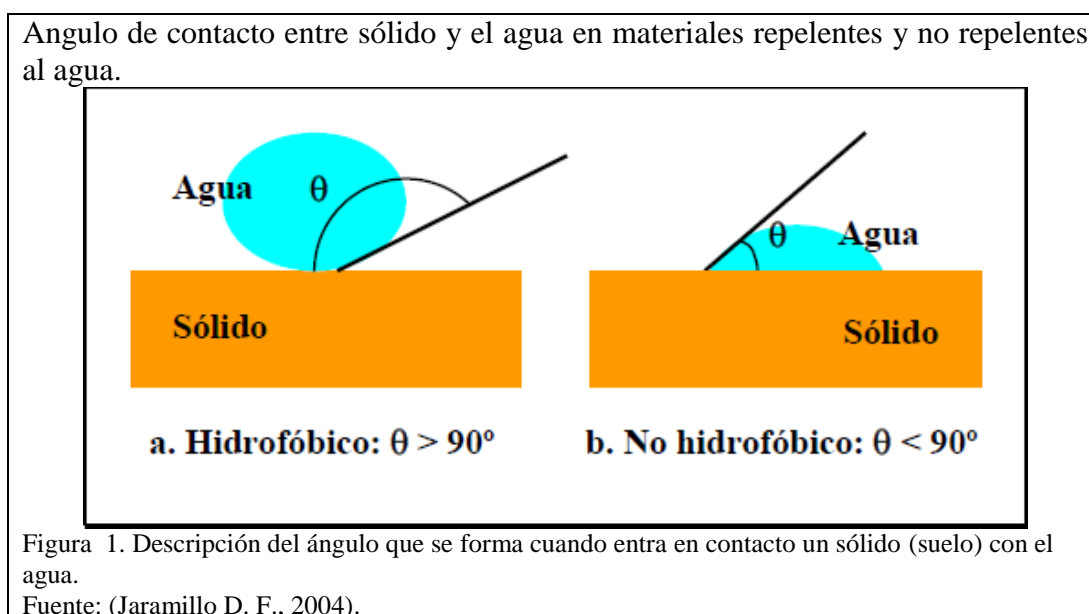
3.4.2 Intensidad de los Incendio Forestales

Los incendios forestales, ya sea de una manera directa como indirecta son causantes de modificaciones físico químicas en los suelos que soportan altas temperaturas durante los mismos, conociendo que si estos son de gran intensidad provocan la quema del carbono orgánico, disminución del nitrógeno debido a la incineración de sustancias orgánicas nitrogenadas y una mineralización de elementos fertilizantes los cuales están en los residuos vegetales (Mataix J. S., 1999).

Las alteraciones físicas producidas en el suelo después del paso del fuego están relacionadas directamente con la temperatura a la que permanecieron expuestas las diferentes zonas del mismo, por ejemplo los cambios no son significativos a una temperatura de 220°C, por el contrario a temperaturas entre 220 y 460°C, se evidencia la combustión de algunas sustancias orgánicas del suelo creando moléculas que pueden derivar en efectos sobre algunas propiedades del suelo por ejemplo en la hidrofobicidad del suelo, textura y estabilidad de agregados (Ulloa, 2016, pág. 3)

3.5 Repelencia al Agua del Suelo.

Según (Jaramillo D. F., 2004), un material es considerado hidrofóbico o repelente al agua, cuando el agua no se extiende sobre su superficie, es decir cuando el ángulo que se forma entre la superficie del agua (interfase agua-aire) y la superficie del sólido (interfase agua-sólido) es mayor o igual a 90°, figura 1.



3.6 Sustancias Húmicas

Actualmente no existen resultados precisos que sugieren una única procedencia de las fracciones húmicas. La investigación llevada a cabo se decanta en

su mayoría a contemplar diversas posibilidades. En este sentido hay resultados de que las sustancias de origen hidrocarbonada, descompuestas primariamente durante los estados iniciales de la humificación, pueden servir como fuente principales de las unidades estructurales en las moléculas de Sustancia Húmicas, a través de diversas transformaciones durante el metabolismo microbiano y así, se ha demostrado que antecesores de compuestos aromáticos, por ejemplo el ácido siquimico, es formado en cultivos de bacterias y hongos, usando azúcar como fuente energética. Y ciertos autores han mostrado la tendencia a la polimerización y a la insolubilidad de aminoazúcares, que podrían ser el origen de las fracciones húmicas. Estos hechos se han tratado de explicar admitiendo que la humificación comienza muy precozmente en los tejidos en descomposición. Antes de que los tejidos lignificados sean solubles y precipitarles por los ácidos, que son en cierto modo comparables a los ácidos húmicos (Blayas & Garcia., 2003).

La escuela alemana de Flaig es la principal defensora en acotar la lignina como materia prima originaria del humus. Mantiene la teoría que las sustancias húmicas son el resultado de la secuencia iniciada con la degradación y demetilación de la lignina a polifenoles sustituidos, precedida de la oxidación a quinonas y su condensación con unidades aminoácidos (Blayas & Garcia., 2003).

Dentro de las principales funciones de las sustancias húmicas en el ambiente podemos destacar:

- Efecto de sorción.
- Efecto de solubilización.
- Efectos de catálisis e hidrolisis.
- Efecto en los procesos biológicos.

- Efectos de fotosensibilidad y amortiguación.

De acuerdo a ello, las sustancias Húmicas pueden fijar químicos, pueden actuar como vehículo para su movilización, transporte e inmovilización, de herbicidas, pesticidas o aceites (Aguilera., 2000)

3.6.1 Sorción.

En la actualidad, existe una serie de procedimientos destinados a la depuración o remoción de metales pesados en medios acuosos, las mismas no siempre son aplicables en todos los escenarios, a causa de desventajas en los procesos como por ejemplo: sensibilidad por la variación del pH, tiempo de contacto temperatura.

Por esta razón, ha surgido la necesidad de optar por métodos económicos y alternativos que demuestren efectividad en el tratamiento de remoción de metales utilizando matrices sólidas (Sorbentes) entre los cuales podemos destacar la adsorción (Ramalho., 1996/2003). En el proceso donde las moléculas se adhieren en la capa superficial de un adsorbente (fase sólida) se denomina como adsorción. Si las mismas se introducen en el adsorbente, el proceso se denomina absorción. Cuando los dos procesos descritos anteriormente ocurren de manera simultánea se le atribuye el término de sorción, puesto que no se puede distinguir uno de otro (Augoborde., 2008). Si la adsorción de una o varias especies iónicas son acompañadas por la desorción en el mismo proceso de una cantidad semejante de especies iónicas, el proceso se denomina como adsorción por intercambio iónico. Estos procesos se pueden apreciar en la figura 2.

Detalle de los procesos de sorción.

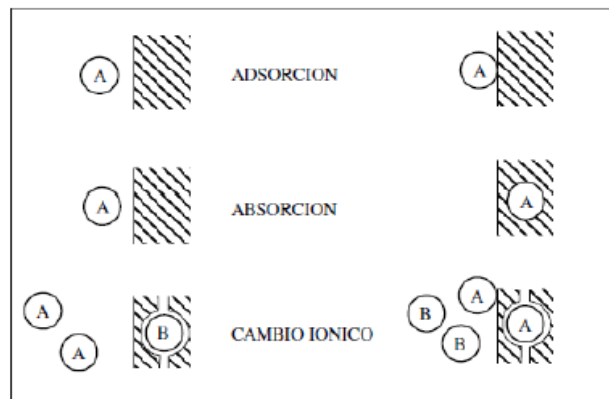


Figura 2. Descripción de los procesos de Adsorción, Absorción e intercambio iónico a través de la superficie del sorbente sólido

Fuente: (Novillo & Vélez., 2015)

3.6.2 Mecanismos de sorción.

Los procesos de adsorción se producen por medio de fuerzas de Van der Waals (adsorción física) en la que la superficie específica del adsorbente establece un enlace no covalente a través de la combinación de fuerzas de atracción o repulsión asimismo pueden ser la consecuencia de interacciones de carácter químico (adsorción química), donde se producen uniones en la superficie utilizando fuerzas químicas (Elias., 2009).

No existe línea divisoria clara entre los dos tipos de adsorción que permita distinguirlos claramente solo en situaciones extremas, aunque es habitual observar comportamientos intermedios (Novillo & Vélez., 2015). Se puede decir que existe una diferencia básica entre la fisisorción y la quimisorción, es decir, en la adsorción física la especie adsorbida (fisisorbida) mantiene su naturaleza química, por el contrario, en la adsorción química la especie adsorbida (quimisorbida) sufre una modificación, dando lugar a una especie química diferente (Novillo & Vélez., 2015).

3.6.3 Efecto del pH.

Uno de los parámetros más importantes en los procesos de sorción es el valor del pH debido a la naturaleza del metal (aniónica o catiónica) afectando a la química

de la solución, por tal motivo se produce una lucha entre grupos funcionales en la superficie del adsorbente y los iones metálicos (Novillo & Vélez., 2015). De ahí que es necesario la determinación de un pH óptimo en el cual se produce la máxima retención del metal (calcio), algunos autores como (Rivas., 2006), mencionan que la adsorción de cationes suele estar favorecida a valores de pH superiores a 4,5 y la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, que se encuentra entre, 1.4 y 4.

3.6.4 Tiempo de contacto.

El tiempo estimado de contacto es un parámetro importante debido a que nos indica el tiempo aproximado de saturación del sorbente (para nuestro estudio las muestras de suelo) en el cual la cantidad de metal removido no incrementa con el pasar de los minutos de contacto de la solución con la matriz o muestra, la evaluación del tiempo de contacto es necesario para determinar el equilibrio aproximado en la sorción.

3.6.5 Isotermas de Equilibrio.

Detallan la relación entre la afinidad de un adsorbato con un adsorbente en el agua a temperatura constante. Estas relaciones de equilibrio se expresan mediante las isotermas de sorción, las cuales toman en cuenta dos características principales: la formación de capa (monocapa o multicapa) y superficie (heterogénea o homogénea) dependiendo del comportamiento en la interacción entre el adsorbato y adsorbente; es por este motivo que se consideran las concentraciones iniciales y finales de los ensayos, así como también la masa de la muestra empleada para determinar la tasa máxima de retención (Novillo & Vélez., 2015). Debido a esta necesidad se han desarrollado una serie de modelos matemáticos para el análisis de los datos obtenidos en experimentos relacionados a la sorción, los más sobresalientes son los modelos desarrollados por Langmuir (1918) y por Freundlich (1926).

Isoterma de Langmuir linealizada.

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{max}} + \frac{1}{b * Q_{max} * C_e}$$

Donde:

Q_{max} = Tasa máxima de retención del metal (mg metal/g biosorbente).

b = constante relacionada con la afinidad del biosorbente por los iones del metal, siendo b la ordenada y su recíproco la tasa máxima de retención del metal.

Pudiendo evaluar la isoterma de Langmuir a partir de un factor adimensional así:

$$RL = \frac{1}{1 + b * C_i}$$

Donde los valores de RL indican:

RL= 0 Sistema isotérmicamente irreversible.

$0 < RL < 1$ sistema isotérmico favorable, siendo $RL = 1$ lineal

$RL > 1$ desfavorable, debido a que se observa que la sorción del metal no es significativa.

Isoterma de Freundlich.

$$\log q = \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e + \log k$$

Donde:

n = Constante relacionada con la intensidad de sorción del biosorbente en función de su grado de heterogeneidad. Siendo n el recíproco de la pendiente m .

K = Constante de Freundlich relacionada a la capacidad de sorción del biosorbente.

Siendo $\log K = b$

3.7 Parámetros físico-químicos del Suelo.

A nivel general existen variables de medición que figuran como Indicadores de la Calidad del Suelo, los cuales permiten conocer la condición del suelo y obtener información sobre cambios del mismo.

De los indicadores de calidad investigados se han tomado en cuenta la medición de la materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, humedad, textura y repelencia al agua.

La calidad y la salud del suelo son conceptos semejantes, no siempre considerados sinónimos. La calidad se conoce como la utilidad del suelo para un propósito específico en un grado amplio de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo por ejemplo: contenido de materia orgánica, contenido de carbono orgánico, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular forma parte de la salud del suelo; por lo tanto nos darían una idea sobre las condiciones del mismo (Cruz, Barra, Castillo, & Gutierrez., 2004).

3.7.1 Materia orgánica.

La materia orgánica del suelo (MOS), está conformada por residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana. La misma está relacionada con las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (Zagal & Córdova., 2005).

La descomposición de la materia orgánica se da de forma natural y la velocidad con esta ocurre depende de varios factores como por ejemplo: oxígeno, humedad, temperatura; Al material orgánico que es descompuesto por los microorganismos se convierten en una forma estable la cual tomo el nombre de humus la misma a su vez

se compone de sustancias húmicas y no húmicas en proporción de 30% y 70% respectivamente.

3.7.2 Humedad.

Se comprende por humedad del suelo a la masa de agua contenida en una unidad de masa de sólidos del suelo, tiene influencia en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil (Flores & Alcalá., 2010).

3.7.3 Textura

La textura del suelo se basa en la relación que se presenta entre los porcentajes de las principales fracciones que la componen (limo, arcilla y arena). Las posibles mezclas de estos componentes en diferentes porcentajes pueden reunir en unas pocas clases ya sea de tamaño de partículas o su vez en clases texturales. Se han dispuesto muchos tipos de diagramas para representar estas clases (circulares, de barras), pero el que principalmente se emplea es el triángulo de texturas o Diagrama textural.

3.7.4 pH.

El potencial hidrogeno denominado también como pH, es una propiedad Química del suelo que incide en los procesos físicos, químicos y biológicos de microorganismos de las plantas. La lectura del pH se efectúa en la interfase líquida del suelo e indica la concentración de iones Hidrogeno que se encuentran activos (H^+).

3.7.5 Conductividad eléctrica.

Mide la concentración total de sales disponibles en el suelo y se fundamenta en el principio de que todas las sales disueltas en una solución tienen la capacidad de conducir la corriente eléctrica en forma proporcional o a su vez a la concentración de los constituyentes ionizados del suelo.

3.7.6 Nitrógeno.

En el suelo el nitrógeno principalmente se encuentra formando parte de la materia orgánica y además sirve como elemento de reserva a medida que se va mineralizando y descomponiendo. De a poco, el nitrógeno orgánico se transforma en nitratos y amonio intercambiable que es fácilmente asimilable y disponible para el crecimiento de las plantas.

3.7.7 Repelencia al agua.

En los últimos tiempos se venido incluyendo la determinación de la REPELENCIA AL AGUA como un parámetro para la definición de la calidad del suelo, dado que la presencia de esta disminuye la capacidad de infiltración del agua en el suelo provocando que la escorrentía aumente en suelo hidrófobos (USDA., 2000).

3.7.8 Carbono orgánico.

Según (USDA., 2000), el carbono orgánico del suelo se lo precisa como la cantidad del carbono que se encuentra en los compuestos orgánicos presentes en el suelo. Es decir, se lo encuentra dentro de los residuos orgánicos de vegetales, animales, y microorganismos así como también en las cadenas carbonada transformada a estables de los ácidos húmicos.

3.8 Afectación de los parámetros físico-químicos (indicadores) del suelo a causa de incendios forestales.

3.8.1 Afectación de los incendios forestales sobre la humedad del suelo.

El suelo, aparte de la desecación inmediata provocada por el paso del fuego, la pérdida de protección del suelo debido a la merma de la cubierta vegetal, sumado con el aumento de la temperatura también pueden provocar una reducción de la humedad del suelo (Teijeiro, 2007). Las sustancias hidrofóbicas presentes en el suelo también puede hacer que reduzca la humedad del mismo. Si el suelo ha tenido cambios en su capacidad para retener la humedad por diversos factores como la disminución o compactación en su contenido de materia orgánica, este efecto de pérdida de humedad puede verse incrementado (Teijeiro, 2007).

3.8.2 Afectación de los incendios forestales sobre la textura del suelo.

En general, después del paso de un incendio sobre el suelo, la repartición del tamaño de partículas del mismo no evidencia cambios representativos hasta llegar a temperaturas entre 300°C y 400 °C. A temperaturas que superan los 460 °C se produce la pérdida de los grupos OH de las arcillas y la segregación de los carbonatos. También pueden causar uniones de las partículas a causa del incremento de la temperatura por ejemplo de partículas de tamaño arcilla, aumentando porcentualmente el tamaño de limo y arena. Estos cambios se han hecho evidentes por la calcinación en la que se ven sumergidos los óxidos de hierro, los carbonatos, y los aluminosilicatos. Estas reacciones térmicas pueden traer como resultado un daño irreversible en la composición del mineral y provocar cambios negativas en el estado químico y nutricional del suelo los mismos que afectarán al desarrollo de las plantas. Por otra parte, los suelos quemados pueden tomar texturas más gruesas debido a los procesos de erosión después de ser afectados por un incendio forestal que provocan

la pérdida de las partículas más finas lo que aumenta el porcentaje de fracción gruesa (Teijeiro, 2007).

3.8.3 Afectación de los incendios forestales sobre la repelencia al agua del suelo.

El calor producido durante la combustión de los materiales o restos que se encuentren en la superficie durante un incendio forestal puede llegar a 850°C y 1100 °C logrando vaporizar sustancias orgánicas que se introducen al interior del suelo y posteriormente se enfrían y condensan al encontrarse con un gradiente de temperaturas más frías conforme aumenta la profundidad, la repelencia al agua entonces llega a manifestarse como una capa moderada, de grosor y continuidad variables, principalmente en la superficie del suelo o a unos cuantos centímetros de profundidad (Ulloa, Pazmiño, Cárdenas, & Arcos., 2014).

3.8.4 Afectación de los incendios forestales sobre la materia orgánica presente en suelo.

La combustión durante un incendio forestal de la materia orgánica es uno de los mayores efectos sobre el suelo ya que no únicamente perturba a las propiedades físicas y químicas del suelo, adicionalmente que la materia orgánica es parte fundamental para el desarrollo de su actividad biológica. El grado de incineración de la materia orgánica en la duración de un incendio depende fundamentalmente de los rangos de temperatura alcanzados por el mismo.

Existen diferentes componentes químicos de la materia orgánica que disminuyen i se pierden en su totalidad a medida que la temperatura del suelo va en ascenso.

Un incendio que alcanza temperaturas entre 220 y 460°C deja como resultado la pérdida de la materia orgánica y por ello afecta a las propiedades del suelo las que dependan de la misma. Por otra la destrucción de la materia orgánica puede ser favorable pues aporta gran cantidad de nutrientes disponibles para las plantas aunque, por otro lado, provoca la destrucción de la composición del suelo (Teijeiro, 2007).

3.8.5 Afectación de los incendios forestales sobre el contenido de nitrógeno en el suelo.

Los efectos que da como consecuencia el fuego sobre el nitrógeno del suelo son de especial relevancia por ser éste uno de los primordiales nutrientes que posee el suelo para las plantas y microorganismos.

Según (Teijeiro, 2007), el nitrógeno presente en el suelo disminuye como efecto directo del fuego. En general, la pérdida de nitrógeno va de acuerdo a la intensidad del incendio, a los niveles de temperatura alcanzada por el mismo y a la cantidad de la materia orgánica combustionada.

Se atribuye esta pérdida a la formación de compuestos volátiles de nitrógeno durante la pirolisis de la materia orgánica a pesar que de otras investigaciones han determinado un incremento del nitrógeno esto en incendios de baja intensidad esto se atribuye a la poca pérdida de la materia orgánica y a la esparcimiento de cenizas y de restos vegetales lo cual es consecuencia de una combustión incompleta (Teijeiro, 2007).

3.8.6 Afectación de los incendios forestales sobre el pH del suelo.

En la mayoría de suelos afectados por incendios, la acidez del mismo se reduce a causa de la adición de cationes, principalmente de Ca, Mg, K, Si y P así

como determinados micro elementos como: carbonatos y óxidos los que están contenidos en la cama de cenizas. El humedecimiento de las mismas provoca la hidrólisis de los cationes básicos contenidos en ellas y, consiguientemente, el pH se eleva. Por lo general la variación del pH estará relacionada a la intensidad del incendio esto si se trata de un incendio de baja intensidad, en el que la combustión de la materia orgánica es relativamente baja, los cambios en el pH no son significativos. Se ha observado en determinados casos que se puede producir una disminución del pH de algunas décimas. A causa de una disminución del poder amortiguador del suelo que resulta de la deshidratación de los coloides. En los incendios en los que la intensidad un alto nivel, y produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo, el pH del mismo puede llegar a incrementarse de forma mucho más evidente (4 o 5 unidades) esto a causa fundamentalmente de la pérdida de grupos OH que esta presentes en la arcilla y a la formación de óxidos (Mataix J. S., 1999).

3.8.7 Afectación de los incendios forestales sobre la conductividad eléctrica del suelo.

La conductividad eléctrica normalmente aumentan, debido al aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas (Mataix & Guerrero., 2007).

Según (Cárdenas & Zapata, 2015), señala para suelos de paramos un valor de conductividad eléctrica de 0.08 dS/m – 0.28 dS/m en suelos que no han sido intervenidos mientras que el valor de la conductividad sobre suelos intervenidos oscila entre 0.07 dS/m – 0.19 dS/m; valores que corresponden a suelos no salinos y que se ven influenciados por la textura del suelo, contenido de materia orgánica, humedad y por la capacidad de intercambio catiónico.

4. Materiales y métodos.

El desarrollo del presente estudio constó de dos fases (fase de campo y fase de laboratorio), para lo cual fue necesario la utilización de diferentes materiales, equipos, reactivos y métodos los cuales se detallan a continuación.

4.1 Fase de Campo.

Tabla 1. Materiales utilizados para la fase de campo.

MATERIALES
Pala
Fundas plásticas (ziploc)
Marcador
GPS
Cámara Fotográfica
Libreta
Recipiente Plástico (Termo cooler)

4.2 Fase de laboratorio.

Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos utilizados para el análisis físico-químico en el laboratorio.

INDICADOR	MATERIALES	EQUIPO	REACTIVO
pH			
	Vasos de Precipitación	pHmetro	Agua
	Piseta	Balanza	
Conductividad eléctrica			
	Vasos de Precipitación	Conductímetro	Agua
	Piseta	Balanza	
Humedad			
	Crisoles	Balanza Analítica	
	Espátula	Estufa	
	Pinza Metálica	Desecador	
Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Nitrógeno			
	Vasos de Precipitación	Balanza Analítica	Dicromato de Potasio

	Piseta	Soporte Universal	Ácido Sulfúrico concentrado
	Pipeta	Sulfato Amónico Férrico	
	Bureta	Ferroina	
	Matraz		
	Espátula		
	Balón Aforado		
Textura			
	Vasos de Precipitación	Balanza Analítica	Agua
	Probeta	Hidrómetro	
	Piseta		
	Espátula		
Repelencia al Agua			
	Vasos de Precipitación	Balanza Analítica	Agua
	Gotero	Cronómetro	Etanol
	Caja Petri		
	Espátula		
Sorción			
	Vasos de Precipitación	Balanza Analítica	Agua
	Espátula	Plancha de agitación	Solución Estándar de Calcio
	Balón Aforado	pHmetro	
	Papel Filtro	Equipo de Absorción Atómica	
	Embudo	Micro pipeta	
	Pastillas de Agitación		
Tratamiento Térmico			
	Crisoles	Horno Eléctrico (Estufa)	
	Pinzas Metálicas	Termo Cupla	
	Guantes	Cronómetro	

Nota. Detalle de materiales, equipos y reactivos utilizados para el desarrollo de la presente investigación

Elaborado por: Fernando Carrera

4.3 Metodología.

4.3.1 Toma de muestras.

Para la toma de muestras se utilizó el método asistemático que es un muestreo al azar, sin embargo, el punto elegido es representativo del lugar.

Se tomó un bloque de 20 cm de profundidad el cual para su transporte fue etiquetado respectivamente y dispuesto en un recipiente plástico (termo cooler), con el propósito de conservar la muestra en óptimas condiciones mientras se trasladaba al lugar de análisis el mismo que se llevó a cabo en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) Campus Sur.

Una vez en el laboratorio se descartó de la muestra la capa vegetal (hojas secas, raíces y algunos residuos orgánicos), para poder analizar la capa superficial (los primeros 5-7 cm). La muestra fue tamizada (figura 3) con una malla de 2 mm de la cual se procedió a tomar las respectivas alícuotas para los diferentes análisis Físico-Químico.



4.3.2 Tratamiento Térmico (Simulación de Incendio)

Para simular el efecto de un incendio se tomó como referencia el protocolo detallado en (Cerdà & Jordán, 2010, págs. 317,318), en el cual sugieren someter la muestra original a los efectos de una temperatura constante durante intervalos de tiempos crecientes en un horno eléctrica de mufla (figura 4), con la ayuda de las terminales de una termocupla se medirá la temperatura alcanzada. Se recomienda usar intervalos de tiempo de 40 segundos; estos intervalos pueden elegirse de manera que resulten representativos de los distintos grados de transformación de acuerdo a la intensidad del incendio, los intervalos bajos representarían los incendios de baja intensidad y así sucesivamente el incremento de los intervalos darían lugar a una réplica cercana de los incendios de media y alta intensidad.

Tratamiento térmico.



Figura 4. Estufa (Horno eléctrico) utilizado para el tratamiento térmico en la muestras de suelo. Elaborado por: Fernando Carrera.

En condiciones de laboratorio, las muestras se depositaron en crisoles de 100 cm³ llenas de muestra la cual fue tamizada con anterioridad por una malla de 2 mm que se introdujeron al horno precalentado a 1000 °C el crisol se depositó sobre un trípode metálico invertido que evitó el contacto de la capsula con el suelo del horno para el presente estudio se utilizó tres capsulas de 50 cm³ invertidas como soporte

para la capsula con la muestra, además se recomienda que la capsula se ubique en el centro del horno para mantenerla separada de las paredes incandescentes.

En nuestro caso se realizaron simulaciones de incendios de tres intensidades (Baja, Media y Alta), para replicar del incendio de baja intensidad se introdujo la capsula en el horno precalentado a 1000°C durante 40 s, para la réplica del incendio de media intensidad las capsulas se mantuvieron en el horno durante 60 s y finalmente para replicar el incendio de alta intensidad 80 s. inmediatamente después del tiempo transcurrido se procedió a la toma de la temperatura con la ayuda de una termocupla la medición se realizó en el centro de la capsula y a 1 o 2 cm de profundidad.

Las muestras pudieron ser extraídas de la REA, de la capa superficial del bloque tomado después de ser tamizado fue sometida a una quema (simulación de incendio), de la cual se pudo determinar que la temperatura del horno eléctrico (mufla) osciló entre los 960°C y 1000°C mientras que la temperatura en las muestras la temperatura alcanzada en los diferentes casos fueron para la réplica de un incendio de baja intensidad el promedio de temperatura alcanzada fue de 77.83°C , para la réplica de un incendio de media intensidad el promedio de la temperatura alcanzada fue de 141.65°C y para la réplica de un incendio de alta intensidad el promedio la temperatura alcanzada fue de 197.3°C , cabe mencionar que estas lecturas corresponden a la temperatura alcanzada por las muestras a 3cm de profundidad y a intervalos de 20, 40 y 60 segundos respectivamente, como lo indica (Cerdà & Jordán, 2010), en su protocolo.

4.3.3 Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno.

Para la determinación de estos tres parámetros se tomó como referencia el protocolo que se describe en (Radojević & Bashkin., 1999) anexo 1.

Oxidación y digestión de las muestras.



Figura 5. Proceso de oxidación y digestión (reposo de 30 minutos) de las muestras de suelo con dicromato de potasio y ácido sulfúrico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

Titulación de la muestra.



Figura 6. Titulación de las muestras con sulfato amónico férrico e identificación de viraje de color.
Elaborado por: Fernando Carrera.

- Ecuaciones utilizadas para el cálculo e interpretación de los resultados.

$$\text{Carbono orgánico} \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{18 * C * V * \left(1 - \frac{V1}{V2} \right)}{M}$$

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

$$\text{Materia Orgánica} (\%) = 1.30 * \text{Carbono orgánico} (\%)$$

$$\text{Nitrógeno orgánico} (\%) = 0.05 * \text{Materia orgánica} (\%)$$

Donde:

C = Concentración en mol/L de la solución de Dicromato de Potasio (0.166 M)

V = Volumen de la solución de Dicromato utilizado (10 ml).

V1 = Volumen del titulante gastado en ml para cada muestra.

V2 = Volumen del titulante gastado en ml para el control.

M = Peso en gramos de cada muestra.

4.3.4 pH y Conductividad eléctrica.

El pH y la conductividad eléctrica del suelo se determinaron mediante soluciones acuosas de las muestras con agua destilada, en una proporción de 1:2.5 peso/volumen para el pH y 1:5 peso/volumen para la conductividad. Las mezclas fueron agitadas manualmente durante 5 minutos y se procedió a tomar lectura del pH utilizando electrodo del medidor de pH. Seguidamente, adicionó el volumen de la solución acuosa hasta llegar a 50 ml y se determinó el valor de la conductividad mediante el conductímetro. (Figura 7)

Determinación de pH y Conductividad.



Figura 7. Determinación de pH y conductividad de las muestras antes y después del tratamiento térmico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

4.3.5 Textura.

Para la determinación de la textura se utilizó el método de Bouyoucos, basado en la ley de Stokes. Anexo 2

Determinación de la textura.



Figura 8. Determinación de la textura en las muestras de suelo antes y después del tratamiento térmico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

4.3.6 Humedad.

Para la determinación de la humedad del se utilizó el Método termogravimétrico-termovolumétrico. Anexo 3

Determinación de humedad.



Figura 9. Determinación de humedad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

4.3.7 Determinación de la repelencia al agua.

La repelencia al agua de los suelos, se determinará según los métodos Water Drop Penetration Time (WDPT) y Test de Porcentaje de Etanol (TPE) (Cerdà & Jordán, 2010):

Determinación de Repelencia.



Figura 10. Determinación de la repelencia al agua de las muestras de suelo aplicando los métodos WDTP Y TPE.
Elaborado por: Fernando Carrera.

4.3.8 Sorción.

Se partió con la determinación de la concentración inicial de calcio en las muestras de suelo con y sin tratamiento térmico para lo cual se sometió a las

muestras a un proceso de digestión ácida utilizando un digestor de microondas Speedwave. Para dicho análisis se tomaron 2g de muestras posteriormente se colocaron las muestras en los reactores con 25 ml de agua regia, se dejó reposar las muestras durante 20 minutos para luego introducir al microondas y se procedió a programar el equipo según las especificaciones del manual para muestras de suelos. Las soluciones resultantes fueron analizadas mediante un espectrofotómetro de absorción atómica VarianSpectrAA20.

Para el presente trabajo de investigación se tomó como referencia la metodología utilizada por (Novillo & Vélez., 2015).

En nuestro caso el sorbente es la muestra de suelo tamizado incluyendo las muestras que fueron sometidas al tratamiento térmico (simulación de incendios).

Las soluciones estándar y las soluciones a diferentes concentraciones (2 ppm, 4 ppm y 10 ppm) utilizadas en esta investigación, fueron preparadas a partir de una solución estándar de calcio (1000 ppm).

4.3.9 Determinación del pH óptimo.

Para determinar el efecto del pH en el presente estudio de sorción del calcio en el suelo se colocaron 50 ml de la solución de calcio cuya concentración fue de 2,0 ppm en 3 Vasos de precipitación de 400 ml a partir de la solución madre de 1000 ppm. A continuación se agregó a cada vaso la cantidad del sorbente (suelo) en gramos para nuestro caso se pesaron 0.10g de muestra de suelo para cada repetición. Las soluciones fueron agitadas durante 2 horas, luego se las filtró, después a las soluciones resultantes se les ajustó el pH a 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 con ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N e hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N; finalmente, se utilizaron estas soluciones para determinar la capacidad de sorción en función del pH.

Una vez establecido el pH óptimo para cada muestra (Sin quemar y Quemada), se continuó con la identificación de la velocidad con relación al tiempo con la que el calcio fue adsorbido por los sorbentes mediante el siguiente procedimiento:

En vasos de precipitación de 400 ml se colocaron 50 ml de soluciones de, 2, 4, 10 ppm de Calcio. A cada una de ellas se les agregó la cantidad de muestra (0.1 gramos) y se ajustó al pH óptimo para nuestro caso el pH óptimo fue 5. Dichas soluciones estuvieron en agitación a 400 rpm durante 5, 10, 15 y 30 minutos respectivamente. Después de la agitación las soluciones fueron filtradas y el resultante de estas filtraciones fueron analizadas para determinar la concentración de calcio existente en las mismas después de la agitación. Se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica VarianSpectrAA20 para medir la concentración de calcio contenido en las soluciones acuosas resultantes de la agitación; El Equipo fue calibrado con una longitud de onda de 424.74 nm, un ancho de rendija de 0,2 nm. Todo el proceso se puede apreciar en la figura 11.

Determinación del contenido de calcio en las muestras del suelo.

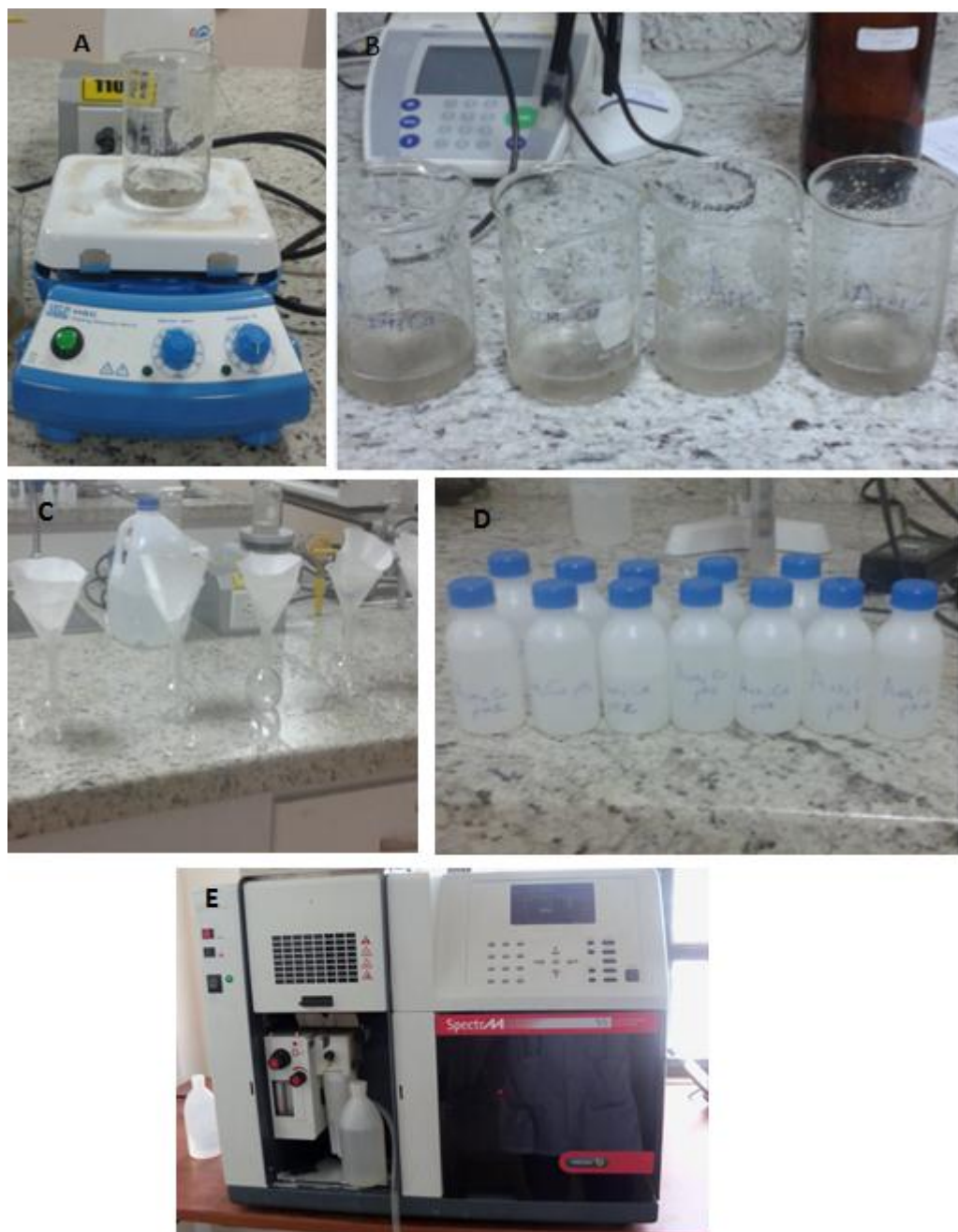


Figura 11. Proceso de determinación del contenido de calcio en las muestras de suelo: A) agitación, B) Medición del pH, C) filtración, D) Almacenamiento de las muestras, D) lectura en el equipo de absorción atómica. Antes y después de la aplicación del tratamiento térmico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

4.3.10 Determinación de las isotermas (cantidad máxima de sorción) en el proceso de remoción de Calcio.

Para las isotermas de sorción se evaluaron los modelos isotérmicos de Freundlich, Langmuir y Langmuir-Freundlich los cuales ayudan a determinar la

capacidad de remoción o retención para el calcio. Con el pH óptimo anteriormente definido para cada matriz (muestra de suelo), los datos utilizados para la determinación de las isothermas fueron tomados de las lecturas de las muestras agitadas por el lapso de 30 minutos para cada matriz. Anexo 1.

4.4 Tratamiento estadístico.

El tratamiento estadístico se basó en el análisis de varianza (ANOVA) mediante el uso del programa estadístico Infostat, para determinar si cada una de los parámetros analizados (variables dependientes), en las muestras son afectados por el factor tomado en cuenta, para el caso de esta investigación el tratamiento térmico. El mismo que fue aplicado en las muestras tomadas de a REA, las mismas que se codificaron como (10 muestras de suelo sin quemar (SQ), suelo quemado a baja intensidad (BI), suelo quemado a media intensidad (MI), suelo quemado a alta intensidad (AI)).

Los datos obtenidos después del tratamiento térmico en cada muestra fueron registrados en tablas denominada Relación Tiempo-Temperatura donde se anotaron las diferentes temperaturas alcanzadas en los diferentes intervalos de tiempo (40s para BI, 80s para MI y 120s para AI).

Tabla 3 Relación Tiempo-Temperatura.

Tratamiento Térmico	Baja Intensidad (BI)	Media Intensidad (MI)	Alta Intensidad (AI)
Tiempo	40 s	80 s	120 s
Muestra #	T °C		

Nota. T temperatura alcanzada en los diferentes tratamientos térmicos.
Elaborado por: Fernando carrera.

Las muestras extraídas de la REA que fueron sometidas a los distintos tratamientos térmicos fueron M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10. Respectivamente.

Los datos obtenidos en cada uno de los parámetros analizados fueron registrados en la tabla llamada Resultados de Análisis, en la cual constan los valores de cada uno de las muestras tomadas para dicho análisis por su puesto con sus respectivas repeticiones las que fueron sometidas a los distintos tratamientos térmicos anteriormente descritos.

Tabla 4. Resultados de Análisis.

Parámetro analizado				
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1				
M2				
M#				
M#				

Nota. SQ= sin quemar, BI= baja intensidad, MI= media intensidad, AI= alta intensidad.
Elaborado por: Fernando carrera.

Para desarrollar el análisis de varianza (ANOVA), se optó por el uso de un diseño experimental DCA (Diseño completamente al azar), en el cual el tratamiento térmico (Temperatura) y el tiempo de exposición fueron los factores que determinaron la variación o no sobre las diferentes parámetros (propiedades físico-químicas) analizados en las muestras de suelo de la REA. Entonces a los parámetros se consideraron como variables dependientes y el tratamiento térmico como el tiempo de exposición se consideró como variables independientes. A los resultados se les aplicó el test de Tukey el cual nos ayudó a determinar medios que son significativamente diferentes entre sí. Para lo que se llevó a cabo un análisis de las

medias obtenidas a partir de los datos de cada parámetro desarrollado, el mismo que indica que existe una diferencia al asignarle una letra diferente.

Para el análisis de la sorción de Calcio en solución acuosa en contacto con una matriz (muestras de suelo) cuenta con 4 niveles para el factor A, niveles que hacen referencia a las matrices o tratamientos (suelo sin quemar, suelo quemado a baja intensidad, suelo quemado a media intensidad y suelo quemado a alta intensidad), 3 niveles del factor B que hace referencia a la concentración del calcio en la solución en ppm (2, 4, 10), y 4 niveles del factor C que constituyen los tiempos de contacto (5, 10, 15 y 30 minutos). Además cada repetición del experimento contiene todas las combinaciones posibles entre los tres factores (tratamiento o matriz, concentración de calcio y tiempo de contacto).

Para el tratamiento estadístico del parámetro de sorción se realizó la prueba de LSD Fisher (least significant difference). La misma que consiste en un test de comparaciones múltiples que nos ayuda a contrastar las medianas de los diferentes niveles de un factor dado. Para nuestro caso ayudó a ordenar de manera jerárquica los tratamientos utilizados para el proceso de sorción de calcio.

5. Resultados y Discusión.

5.1 Resultado de la variación de la Temperatura (Tratamiento Térmico), en las muestras con relación al tiempo de exposición durante la simulación de incendios de baja, media y alta intensidad.

Tabla 5 Relación Tiempo vs Temperatura muestras de la REA.

Tratamiento Térmico	Baja Intensidad (BI)	Media Intensidad (MI)	Alta Intensidad (AI)
Tiempo de Exposición	40 s	80 s	120 s
Muestra #	T °C		
M1	90	127,5	205,5
M2	95	154,8	197,6
M3	89,4	157,5	199,4
M4	84,7	149,1	202,1
M5	92,7	147,6	190,8
M6	83,7	146,6	199,4
M7	83,1	158	188,6
M8	86,9	142,3	195,2
M9	80,6	146,9	196,5
M10	85,4	151,6	198,4
Promedio	87,15	148,19	197,35

Nota: valores de temperatura obtenidos después de aplicar los diferentes tratamientos térmicos a las muestras de la REA.

Elaborado por: Fernando Carrera.

En la simulación efectuada se intentó recrear incendios forestales de baja, media y alta intensidad alcanzando temperatura mínima y máxima de 87.15 °C y 197.35 °C en la simulación de incendios de baja y alta intensidad respectivamente, adicionalmente la temperatura alcanzada en la simulación de incendios de media intensidad fue de 148.19 °C. Según (Mataix J. S., 1999), la temperatura que alcanza el suelo durante un incendio forestal depende de varios factores entre ellos: la cantidad de biomasa vegetal y su humedad presente en el mismo, la humedad del suelo mismo, la velocidad con la que propaga el fuego el tiempo de exposición.

Análisis de Varianza

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
TEMPERATURA	30	0,98	0,98	4,46	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	60955,42	2	30477,71	737,58	<0,0001
TRATAMIENTO	60955,42	2	30477,71	737,58	<0,0001
Error	1115,68	27	41,32		
Total	62071,10	29			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,12775					
Error: 41,3214 gl: 27					
TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
Baja Intensidad	87,15	10	2,03	A	
Media Intensidad	148,19	10	2,03	B	
Alta Intensidad	197,35	10	2,03	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

Figura 122. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo después de aplicar el tratamiento (Temperatura alcanzada).

Elaborado por: Fernando Carrera.

De acuerdo al análisis ANOVA que se presenta en la figura 12, se puede identificar que la simulación de incendios (tratamientos térmicos) tienen alta significancia estadística entre sí. Los valores de temperaturas obtenidos en la simulación de incendios se acercan a los descritos en la teoría además el coeficiente de variación (CV) indica que los valores obtenidos en cada repetición de cada tratamiento no mantienen mucha diferencia entre ellas. Este resultado es debido a que se tomaron todas las recomendaciones indicadas en el protocolo presentado en la metodología.

5.2 Carbono Orgánico (%)

Se reporta los valores de Carbono Orgánico obtenidos en cada una de las muestras que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad) tabla 6.

Tabla 6. Resultado de análisis de Carbono Orgánico en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	Carbono Orgánico			
	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	7	3,96	1,9	1,9
M2	6,9	3,85	1,6	1,6
M3	6,8	3,56	1,3	1,5
M4	7	3,84	1,8	1,35
M5	7,1	3,16	1,5	1,95
M6	6,9	3,39	1,6	1,86
M7	6,8	3,52	2,1	1,63
M8	7,2	3,26	2,9	1,45
M9	6,8	3,68	2,8	1,21
M10	6,4	3,79	2,1	3,5

Nota. Valores de Carbono Orgánico obtenidos antes y después de aplicar los diferentes tratamientos térmicos.

Elaborado por: Fernando Carrera.

Análisis de Varianza					
Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Carbono Organico	40	0,96	0,95	12,66	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	167,15	3	55,72	272,59	<0,0001
Tratamiento	167,15	3	55,72	272,59	<0,0001
Error	7,36	36	0,20		
Total	174,50	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,54452					
Error: 0,2044 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
alta intensidad	1,81	10	0,14	A	
media intensidad	1,96	10	0,14	A	
baja intensidad	3,62	10	0,14	B	
suelo sin quemar	6,89	10	0,14	C	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>					

Figura 13. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto al carbono orgánico.

Elaborado por: Fernando Carrera.

En el análisis ANOVA, que se presenta en la figura 13 se puede identificar que existe una alta significancia estadística con respecto a la pérdida de carbono orgánico en las muestras de suelo después de haber aplicado el tratamiento térmico. De acuerdo a la prueba de Tukey no existe diferencia en la pérdida de carbono orgánico en los tratamientos de media y alta intensidad, la pérdida más evidente se registra en el tratamiento de baja intensidad en el cual el carbono orgánico disminuye de 6,89% a 3,62% en las muestras después de haber aplicado el tratamiento de baja intensidad.

El carbono orgánico es uno de los parámetros que fue afectado por el fuego en la simulación de incendios, El porcentaje mayor de pérdida se puede evidenciar en el tratamiento térmico de baja intensidad en el cual se reduce de 6.9% a 3.6%. Como resultado del incendio se identifica pérdidas de varios elementos por volatilización como por ejemplo el carbono orgánico el cual es liberado a la atmósfera en forma de CO₂, de acuerdo a la explicación de (Gaitán, Bran, & Murray, 2007), en su trabajo “Efecto de la severidad de quemado sobre la concentración de carbono orgánico en montículos e intermontículos en el monte austral”, acotan que la pérdida del carbono orgánico se incrementa con la intensidad del siniestro con ese antecedente se puede justificar que el carbono orgánico descienda aproximadamente en un 5.2%, además autores como (Carballas., 2004), indican que el carbono orgánico tiene una pérdida aproximadamente en un 85% a temperaturas entre 200 y 300 °C cabe destacar que si bien es cierto que la temperatura alcanzada en nuestro estudio fue entre 87 y 198 °C a 3cm de profundidad en la superficie de las muestras la temperatura osciló entre 350 y 450 °C , esto se puede deber a que la estufa se precalentó a 1000 °C

En la mayoría de los casos de suelos afectados por incendios forestales se evidencia el descenso de carbono pero se ha identificado que en algunos incendios de

media intensidad este parámetro incrementa brevemente esto debido a la presencia de cenizas según (Cárdenas & Zapata, 2015), a causa de que se pueden observar la deposición de vegetales parcial o totalmente quemados.

5.3 Nitrógeno Orgánico (%)

Se reporta los valores de Nitrógeno Orgánico obtenidos en cada una de las muestras que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad).

Tabla 7. Resultado de análisis de Nitrógeno Orgánico en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	Nitrógeno Orgánico			
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	0,46	0,26	0,12	0,12
M2	0,45	0,25	0,10	0,10
M3	0,44	0,23	0,08	0,10
M4	0,46	0,25	0,12	0,09
M5	0,46	0,21	0,10	0,13
M6	0,45	0,22	0,10	0,12
M7	0,44	0,23	0,14	0,11
M8	0,47	0,21	0,19	0,09
M9	0,44	0,24	0,18	0,08
M10	0,42	0,25	0,14	0,23

Nota: Valores de Nitrógeno Orgánico obtenidos antes y después a aplicar los tratamientos térmicos.

Elaborado por: Fernando Carrera.

Análisis de varianza

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Nitrogeno Organico	40	0,96	0,95	13,00	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,71	3	0,24	261,35	<0,0001
Tratamiento	0,71	3	0,24	261,35	<0,0001
Error	0,03	36	9,1E-04		
Total	0,75	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03633					
Error: 0,0009 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
alta intensidad	0,12	10	0,01	A	
media intensidad	0,13	10	0,01	A	
baja intensidad	0,24	10	0,01	B	
suelo sin quemar	0,45	10	0,01	C	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>					

Figura 14. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto al nitrógeno orgánico.
Elaborado por: Fernando Carrera.

En el análisis ANOVA, que se presenta en la figura 14 se puede identificar que existe una alta significancia estadística con respecto a la pérdida de Nitrógeno Orgánico en las muestras de suelo después de haber aplicado el tratamiento térmico. De acuerdo a la prueba de Tukey no existe diferencia en la pérdida de Nitrógeno Orgánico en los tratamientos de media y alta intensidad, la pérdida más evidente se registra en el tratamiento de baja intensidad en el cual el carbono orgánico disminuye de 0.45 en las muestras sin quemar a 0.24 en las muestras después de aplicar el tratamiento de baja intensidad.

De la misma forma que ocurre con el carbono orgánico, el suelo sufre un descenso de nitrógeno orgánico la mayor parte por volatilización según (Carballas., 2004). En la presente investigación el nitrógeno orgánico tuvo una variación de

0.45% en las muestras sin quemar a 0.12% en las muestras del tratamiento térmico de alta intensidad es decir tuvo una pérdida del 0.33%. El total de nitrógeno presente en el suelo puede ser volatilizado parcial o totalmente a 200 °C esto dependerá de la intensidad del flagelo. Según (Cárdenas & Zapata, 2015), los valores de Nitrógeno presentados en los resultados de su estudio tienen un descenso del 0.61% a 0.32% esto lo justifican por la combustión de las sustancias nitrogenadas orgánicas presentes en el suelo, además de la cantidad de materia orgánica existente en Antisana.

Algunos autores como (Carballas., 2004) han mostrado el incremento de este parámetro a causa de la incorporación de materiales parcialmente pirolizados dado que la presencia de cenizas como resultado de la combustión estimula la producción primaria de los ecosistemas a través de la retención de nitrógeno y luego de los incendios se redistribuye con la ayuda del viento y el agua lo que hace que la disponibilidad del nitrógeno sea heterogénea en el suelo (Celis, Jordán, & Zavala., 2013).

5.4 Materia Orgánica (%).

Se reporta los valores de Materia Orgánica (tabla 8) obtenidos en cada una de las muestras que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad).

Tabla 8. Resultado de análisis de Materia Orgánica en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	Materia Orgánica			
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	9,1	5,1	2,5	2,5
M2	9,0	5,0	2,1	2,1
M3	8,8	4,6	1,7	2,0
M4	9,1	5,0	2,3	1,8
M5	9,2	4,1	2,0	2,5
M6	9,0	4,4	2,1	2,4
M7	8,8	4,6	2,7	2,1
M8	9,4	4,2	3,8	1,9
M9	8,8	4,8	3,6	1,6
M10	8,3	4,9	2,7	4,6

Nota. Valores de Materia Orgánica obtenidos antes y después de aplicar los tratamientos térmicos.

Elaborado por: Fernando Carrera.

En el análisis ANOVA, que se presenta en la figura 15 se puede identificar que existe una alta significancia estadística con respecto a la pérdida de Materia Orgánica en las muestras de suelo después de haber aplicado el tratamiento térmico. De acuerdo a la prueba de Tukey no existe diferencia en la pérdida de Materia Orgánica en los tratamientos de media y alta intensidad, la pérdida más evidente se registra en el tratamiento de baja intensidad en el cual el carbono orgánico disminuye de 8.95 en las muestras sin quemar a 4.67 en las muestras después de haber aplicado el tratamiento de baja intensidad.

Análisis de varianza

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Materia Organica	40	0,96	0,95	12,75	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	281,89	3	93,96	269,84	<0,0001
Tratamiento	281,89	3	93,96	269,84	<0,0001
Error	12,54	36	0,35		
Total	294,42	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,71075					
Error: 0,3482 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
alta intensidad	2,35	10	0,19	A	
media intensidad	2,55	10	0,19	A	
baja intensidad	4,67	10	0,19	B	
suelo sin quemar	8,95	10	0,19	C	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>					

Figura 13. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto a la materia orgánica.
Elaborado por: Fernando Carrera.

La materia orgánica también es un parámetro que se ve afectado directamente por la acción del fuego, hecho que directamente se relaciona a que la cantidad de materia orgánica resulta de una operación matemática que utiliza el valor de carbono orgánico para su cálculo. En el presente estudio se obtuvo como resultado la disminución de la misma en el rango de 9% en la muestra sin el tratamiento térmico a 2.3% después de haber aplicado el tratamiento de alta intensidad es decir el suelo perdió aproximadamente el 75% de la materia orgánica total presente en las muestras; Varios autores como (Jaramillo, 2015), acotan que el fuego influye directamente sobre la materia orgánica a partir los 100 °C ya que a esta temperatura la misma queda vulnerable y se degrada por oxidación rápida. Los resultados de pueden comparar con lo obtenidos en el estudio de (Cárdenas & Zapata, 2015) en el que la materia orgánica tiene un descenso del 10.66%. Bajo este antecedente y

tomando en cuenta que la temperatura alcanzada en nuestro estudio (198 °C) y agregando que la capa vegetal fue retirada de las muestras antes de someter a los tratamientos térmicos se puede justificar el descenso en este parámetro. (Varela., 2007), indica que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en la capa superficial del suelo la misma que está más expuesta al fuego durante un incendio y según el autor citado el suelo puede evidenciar pérdida de materia orgánica a temperaturas menores a 100 °C y a temperaturas mayor a 200 °C se pierden los componentes volátiles. Según (Mataix-Solera., 2006), la materia orgánica disminuye debido a la ignición e incluso indica que es parcialmente carbonizada por la presencia de cenizas blancas que son el resultado de la combustión.

5.5 Humedad (%).

Se reporta los valores de Humedad (tabla 9) obtenidos en cada una de las muestras sometidas a los tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad).

Tabla 9. Resultado de análisis de la Humedad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	Humedad			
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	30,22	2,53	2,47	2,47
M2	25,69	2,39	2,08	2,08
M3	27,96	1,98	1,69	1,95
M4	26,58	1,84	2,34	1,755
M5	26,47	1,65	1,95	2,535
M6	28,91	1,96	2,08	2,418
M7	28,2	2,36	2,73	2,119
M8	27,65	2,67	3,77	1,885
M9	28	2,52	3,64	1,573
M10	30,38	3,01	2,73	4,55

Nota. Valores de humedad obtenidos antes y después de aplicar los tratamientos térmicos
Elaborado por: Fernando Carrera.

En el análisis ANOVA, que se presenta en la figura 16 se puede identificar que existe una alta significancia estadística con respecto a la pérdida de Humedad en las muestras de suelo después de haber aplicado el tratamiento térmico. De acuerdo a la prueba de Tukey no existe diferencia significativa en la pérdida de Humedad en los tratamientos de baja, media y alta intensidad, la pérdida es similar en los tres tratamientos.

Análisis de varianza					
Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Humedad	40	1,00	0,99	9,62	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5049,99	3	1683,33	2491,74	<0,0001
Tratamiento	5049,99	3	1683,33	2491,74	<0,0001
Error	24,32	36	0,68		
Total	5074,31	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,98997					
Error: 0,6756 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
alta intensidad	1,88	10	0,26	A	
media intensidad	2,01	10	0,26	A	
baja intensidad	2,29	10	0,26	A	
suelo sin quemar	28,01	10	0,26	B	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)</i>					

Figura 14. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto a la Humedad.
Elaborado por: Fernando Carrera.

La humedad es otro parámetro que se vio afectado luego de la aplicación de los tratamientos térmicos, los valores de la misma variaron del 28% a 1.9% después de la simulación de incendios de alta intensidad, el mayor descenso se identifica en la

aplicación del tratamiento de baja intensidad en el cual se pierde el mayor porcentaje de humedad (28% - 2.3%). (Camargo-Garcia, Dossman, Rodríguez, Arias, & Galvis-Quiteros., 2012), en su estudio “Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados” indican el descenso en este parámetro de 99% a 79%, el suelo analizado corresponde al páramo colombiano justifican este decrecimiento a la pérdida de la capacidad para almacenar agua del suelo el cual se tensa por la acción del fuego lo que impide la retención del líquido. (Cárdenas & Zapata, 2015), en su estudio en el cual comparan el efecto de los incendios en suelos tomados de dos lugares diferentes (REA y Cerro Ungüi), muestran que existe disminución en las dos muestras pero con superioridad en las muestras tomadas de la del cerro Ungüi los valores que registraron fueron de: 14% a 2% comparado con los valores obtenidos en las muestras de la REA 37% a 17.49%; Lo que justifican por la cantidad de humedad existente en la vegetación y el suelo, lo cual hace que las temperaturas alcanzadas en la REA sean menores que las temperaturas de Ungüi en los diferentes tratamientos térmicos simulados (alta y media intensidad) y que según (Mataix-Solera., 2006), los factores que condicionan el gradiente de temperatura que se registra en el suelo son principalmente: la humedad del suelo, la cantidad de biomasa vegetal y su humedad, la velocidad de propagación del fuego y, por tanto, del tiempo de residencia de las llamas.

5.6 pH.

Se reporta los valores de pH (tabla 10) obtenidos en cada una de las muestras que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad).

Tabla 10. Resultado de análisis de pH en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	pH			
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	5,00	5,52	5,68	5,86
M2	5,48	5,49	5,69	5,80
M3	5,45	5,51	5,68	5,90
M4	5,54	5,50	5,61	5,91
M5	5,56	5,45	5,59	5,83
M6	5,46	5,47	5,78	5,79
M7	5,49	5,56	5,58	5,93
M8	5,50	5,58	5,61	5,92
M9	5,54	5,48	5,63	5,96
M10	5,54	5,51	5,64	5,86

Nota. Valores de pH obtenidos antes y después de aplicar los tratamientos térmicos
Elaborado por: Fernando Carrera.

EL análisis ANOVA, que se presenta en la figura 17, se puede identificar que existe alta significancia estadística con respecto a la variación del pH en las muestras luego de la aplicación del tratamiento térmico. Según la prueba de Tukey no existe diferencia entre las muestras sin quemar y las muestras después de haber aplicado el tratamiento de baja intensidad el pH es similar, sin embargo las muestras que fueron sometidas a los tratamientos de media y alta intensidad son significativamente diferentes.

Análisis de varianza

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
pH	40	0,77	0,75	1,68	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,06	3	0,35	39,81	<0,0001
Tratamiento	1,06	3	0,35	39,81	<0,0001
Error	0,32	36	0,01		
Total	1,38	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11348					
Error: 0,0089 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
suelo sin quemar	5,46	10	0,03	A	
baja intensidad	5,51	10	0,03	A	
media intensidad	5,65	10	0,03	B	
alta intensidad	5,88	10	0,03	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Figura 17. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto al pH.

Elaborado por: Fernando Carrera.

El parámetro de pH presentó un incremento en las muestras después de aplicar los diferentes tratamientos térmicos el cual pasó de 5.46 a 5.88 teniendo un aumento de 0.46 unidades esto se debe a que existe desnaturalización de los ácidos orgánicos los cuales están presentes en la materia orgánica además por consecuencia de la ruptura estructural de los nutrientes los cuales son liberados durante el calentamiento del suelo en forma de radicales hidroxilo lo que representa una disminución de la acidez del suelo (García, Blanco, & Correa., 2009).

Otra razón para el incremento del pH que se menciona en trabajos sobre incendios forestales es la presencia de cenizas, (Camargo-Garcia, Dossman, Rodríguez, Arias, & Galvis-Quiteros., 2012), explican que la presencia de cenizas aportan al suelo los cationes básicos de cambio por lo que pudieron notar en sus

muestras un aumento de pH el cual fue desde 5.00 a 5.22 incrementándose en 0.22 unidades. (Sánchez, Ibañez, & Sanz, 2007), Explican que una capa de ceniza suministra al suelo una variedad de materiales básicos (Ca^+ K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) neutralizando así el pH las mismas al ser ricas en carbonato potásico, con el incremento de temperatura en el suelo desata en él una reacción básica ya que esta sal proviene de una sal muy fuerte como lo detallan los autores en su estudio "Impacto Ecológico de los Incendios Forestales".

5.7 Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Se reporta los valores de Conductividad (tabla 11) obtenidos en cada una de las muestras que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos (baja, media y alta intensidad).

Tabla 11. Resultado de análisis de Conductividad en las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Parámetro analizado	Conductividad			
Muestras	Tratamiento térmico			
	SQ	BI	MI	AI
M1	312,30	199,30	13,50	99,80
M2	310,60	198,60	142,60	105,60
M3	298,60	185,60	129,60	108,00
M4	287,60	175,90	138,40	98,60
M5	309,50	184,30	127,30	112,70
M6	308,50	183,90	125,01	107,20
M7	300,00	187,60	126,50	104,80
M8	315,80	192,50	123,70	103,40
M9	309,40	198,20	124,80	100,00
M10	299,60	185,40	132,90	101,90

Nota. Valores de Conductividad obtenidos antes y después de aplicar los tratamientos térmicos
Elaborado por: Fernando Carrera.

En el análisis ANOVA, que se presente en la figura 18, se puede identificar que existe alta significancia estadística con respecto a la variación de la

conductividad en las muestras luego de aplicar los tratamientos térmicos son diferentes. Según la prueba de Tukey todos los tratamientos térmicos esta en diferentes rangos es decir la conductividad varía con el incremento de la temperatura.

Análisis de varianza					
Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Conductividad	40	0,99	0,99	3,81	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	239209,96	3	79736,65	1652,94	<0,0001
Tratamiento	239209,96	3	79736,65	1652,94	<0,0001
Error	1736,62	36	48,24		
Total	240946,58	39			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,36544					
Error: 48,2394 gl: 36					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
alta intensidad	104,20	10	2,20	A	
media intensidad	130,60	10	2,20	B	
baja intensidad	189,13	10	2,20	C	
suelo sin quemar	305,19	10	2,20	D	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Figura 18. Análisis de varianza y prueba de Tukey de las muestras de suelo antes y después de aplicar el tratamiento con respecto a la conductividad.
Elaborado por: Fernando Carrera.

La conductividad en las muestras después de haber aplicado los diferentes tratamientos térmicos tiene una variación desde 305.19 $\mu\text{S/cm}$ hasta 104.2 $\mu\text{S/cm}$ observando un descenso de 203.99 $\mu\text{S/cm}$. (Celis, Jordan, & Zavala., 2014), indican que la conductividad tiende a descender en suelos expuestos a temperaturas entre 400°C y 500°C cabe mencionar que la temperatura que alcanzaron las muestras utilizadas en la presente investigación, en la capa superficial dentro de la mufla osciló entre 350 y 450 °C, pues a estas temperaturas se produce la destrucción de las sales y los minerales presentes en el suelo de entre ellas principalmente la arcilla adicionalmente se da la formación de partículas de tamaño muy grueso las que

impiden el paso del agua por lo que se haría notoria la disminución de la conductividad; es necesario acotar que la presencia del agua es importante ya que el suelo por si solo no es un buen conductor de la corriente eléctrica por lo que necesita del agua y de los iones libres de sales para conducirlos a través de una matriz . Pero algunos autores como (Mataix-Solera., 2006), detallan el aumento de forma significativa de la conductividad eléctrica en suelos afectados por incendios forestales esto producto de la incorporación de sales y cationes los cuales son liberados en el suelo por medio de la cenizas resultantes de la quema de los combustibles vegetales disponibles en la capa superficial y de la materia orgánica.

5.8 Textura.

Se reporta los resultados de la textura después de aplicar los tratamientos térmicos en las muestras de suelo tabla 12.

Tabla 12. Resultados y categorización de la textura después de la aplicación del tratamiento térmico.

MUESTRA	TRATAMIENTO TÉRMICO	% Arena (2-0.05 mm)	%Arcilla (0.05-0.002 mm)	%Limo (<0.002 mm)	TIPO	CARACTERÍSTICA
1	SIN QUEMAR	82	2	16	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
2		82	6	12	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
3		78	8	14	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
1	BAJA INTENSIDAD	80	6	14	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
2		81	7	11	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
3		79	8	13	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
1	MEDIA INTENSIDAD	74	10	16	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
2		75	12	13	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
3		78	9	13	ARENOSO FRANCO	TEXTURA GRUESA
1	ALTA INTENSIDAD	67	6	27	FRANCO ARENOSO	TEXTURA MODERADAMENTE GRUESA
2		70	5	25	FRANCO ARENOSO	TEXTURA MODERADAMENTE GRUESA
3		69	8	23	FRANCO ARENOSO	TEXTURA MODERADAMENTE GRUESA

Nota: la clasificación de realizó de acuerdo la USDA

Como resultado de la aplicación de los tratamientos térmicos en las muestras de suelo la textura fue un parámetro que se vio afectado por la acción del fuego el cual cambio en los porcentajes de su composición en el caso de arena el valor inicial fue de 80.6% de arcilla 5.3% y limo 14%, los valores finales para estos componentes fueron de 68.7%, 6.3% y 25% respectivamente con estos valores y de acuerdo con la tabla 3 clasificación de los suelos según USDA, se puede determinar que existe un cambio en la textura en las muestras sin quemar las cuales se identifican con una textura Arenoso Franco a franco arenoso después del tratamiento térmico de alta intensidad. Este cambio se puede atribuir a la adición de partículas finas 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 (Ubeda & Salas., 1996).

5.9 Repelencia al Agua.

Se reporta los resultados de la repelencia obtenidos en las muestras a las que se les aplico los tratamientos térmicos tabla 13.

Tabla 13. Grado de repelencia del suelo al agua antes y después de la aplicación de los tratamientos térmicos.

INTENSIDAD	MUESTRA	GRADO DE REPELENCIA	CLASE DE REPELENCIA (% de Etanol)
Prueba en Campo	1	Hidrofílico	
	2	Hidrofílico	
	3	Hidrofílico	
	4	Hidrofílico	
	5	Hidrofílico	
Sin Quemar (Suelo secado y Tamizado)	1	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	2	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	3	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	4	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	5	Muy fuertemente hidrofóbico	8
Baja Intensidad	1	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	2	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	3	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	4	Muy fuertemente hidrofóbico	8
	5	Muy fuertemente hidrofóbico	8
Media intensidad	1	Fuertemente Hidrofóbico	7
	2	Fuertemente Hidrofóbico	7
	3	Fuertemente Hidrofóbico	7
	4	Fuertemente Hidrofóbico	7
	5	Fuertemente Hidrofóbico	7
Alta Intensidad	1	Fuertemente Hidrofóbico	6
	2	Fuertemente Hidrofóbico	6
	3	Fuertemente Hidrofóbico	6
	4	Fuertemente Hidrofóbico	6
	5	Fuertemente Hidrofóbico	6

Nota: Clasificación de las muestras de las muestras de suelo con respecto a la repelencia.

El fuego también tiene influencia sobre la repelencia al agua en las muestras sometidas al tratamiento térmico, inicialmente de acuerdo a las pruebas realizadas en campo las muestras presentan una Hidrofilidad alta ya que tanto en el test de (WDPT) y (TPE) el tiempo que tardó la gota de agua y la solución de agua-etanol (en todas las concentraciones preparadas) no superó los 3 segundos aproximadamente

por lo que podemos categorizar a las muestras como suelo Hidrofílico, esto puede atribuirse a que la época en la que se realizó el muestreo presentaba alta humedad debido a las lluvias tomando en cuenta que el suelo de páramo tiene una alta tasa de retención de agua según (Lahuatte & Recalde, 2015), la porosidad en este tipo de suelos oscila entre 60 a 90% lo que está relacionado con la retención del agua además indican que la infiltración en este tipos de suelos está alrededor de 10 a 60 mm/h. Luego del tamizado y secado las muestras presentan una Hidrofobicidad elevada todas las muestras sometidas al test de (WDPT) dan como resultado un tiempo de infiltración superior a 7200 segundos por lo que es necesario aplicar el test (TPE) en el cual se obtienen resultados menores a 10 segundos con la solución que contiene 24% de etanol por lo que podemos categorizarlo como Muy Fuertemente Hidrofóbico según (Cerdà & Jordán, 2010). Una de las causas para que las muestras presenten un alto grado de repelencia según (Jaramillo D. F., 2004), es el alto acumulación de cierto tipo de compuestos orgánicos los que provienen de vegetales y/o microorganismos tanto vivos como en descomposición debemos tomar en cuenta que en los suelos de páramo por su alto contenido de humedad la materia orgánica tarda más tiempo para su descomposición. De acuerdo (Bodí, Cerdà, Solera, & Doerr., 2012), estas sustancias hidrofóbicas proceden de plantas vivas y de materia orgánica en descomposición, resinas, ceras, aceites aromáticos, de los exudados de las raíces y de productos de hongos y microorganismos. Sin embargo, todavía no se han identificado los compuestos orgánicos hidrofóbicos concretos que la producen.

Una vez aplicado el tratamiento térmico a las muestras se pudo evidenciar que en las muestras sometidas al tratamiento térmico de baja intensidad la repelencia no cambio ya que el tiempo menor a 10 segundos en la infiltración se obtuvo utilizando el test de (TPE) con un porcentaje de etanol del 24% por lo que todavía

podemos categorizarlo como Muy Fuertemente Hidrofóbico, las muestras que fueron sometidas al tratamiento térmico de media y alta intensidad sufriendo una modificación en la repelencia mostrando una disminución de la misma ya que el tiempo menor a 10 segundos en la infiltración se obtuvo al utilizar el test (TPE) con un porcentaje del 18% y 13% respectivamente y según (Cerdà & Jordán, 2010), en ambos casos podemos categorizarlos como Fuertemente Hidrofóbico. Según (Bodí, Cerdà, Solera, & Doerr., 2012), detallan que después de un incendio, la hidrofobicidad puede aparecer, reducirse o intensificarse algunos estudios realizados a nivel de laboratorio indican que la repelencia al agua se intensifica a temperaturas entre 175 y 270°C, pero la misma se destruye a temperaturas por encima de 270 hasta 400°C dependiendo al tiempo de exposición al fuego esto a causa de cambios en la estructura de las moléculas orgánicas durante la combustión, además se identifica que las sustancias orgánicas hidrofóbicas se volatilizan durante el incremento de la temperatura y las mismas se desplazan en profundidad según el nivel de temperatura, hasta que se condensan a pocos centímetros bajo de la superficie (DeBano, 2000). Independientemente de si ha ocurrido un incendio forestal, la repelencia al agua se asocia a la presencia de diversas especies vegetales, pero no se puede asumir que éstas siempre induzcan repelencia al agua ni actúen con la misma intensidad (Bodí, Cerdà, Solera, & Doerr., 2012). Trabajos como el de (Cárdenas & Zapata, 2015) exponen resultados a cerca de la repelencia al agua en la REA después de la simulación de incendio de alta intensidad los cuales varían desde suelo extremadamente hidrofóbicos en las muestras testigo a muy hidrofílico hasta ligeramente hidrofóbico, notándose un descenso en la hidrofobisidad en las muestras, esta notable reducción en comparación al presente estudio puede justificarse al

prologado tiempo (90 minutos aproximadamente) al que fueron sometidas las muestras en el trabajo citado anteriormente.

5.10 Sorción.

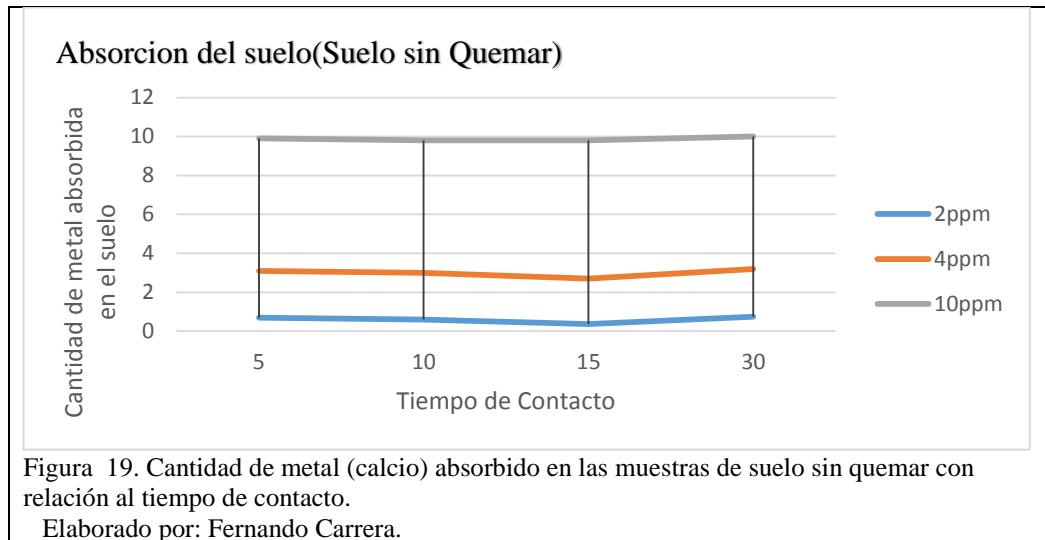
La concentración inicial de calcio se los puede observar en la tabla 14. Que se presenta continuación, las mediciones por espectrofotometría en el equipo de absorción atómica, se realizó tres repeticiones de cada ensayo.

Tabla 14. Concentración inicial de calcio en las muestras de suelo antes y después de la aplicación del tratamiento térmico.

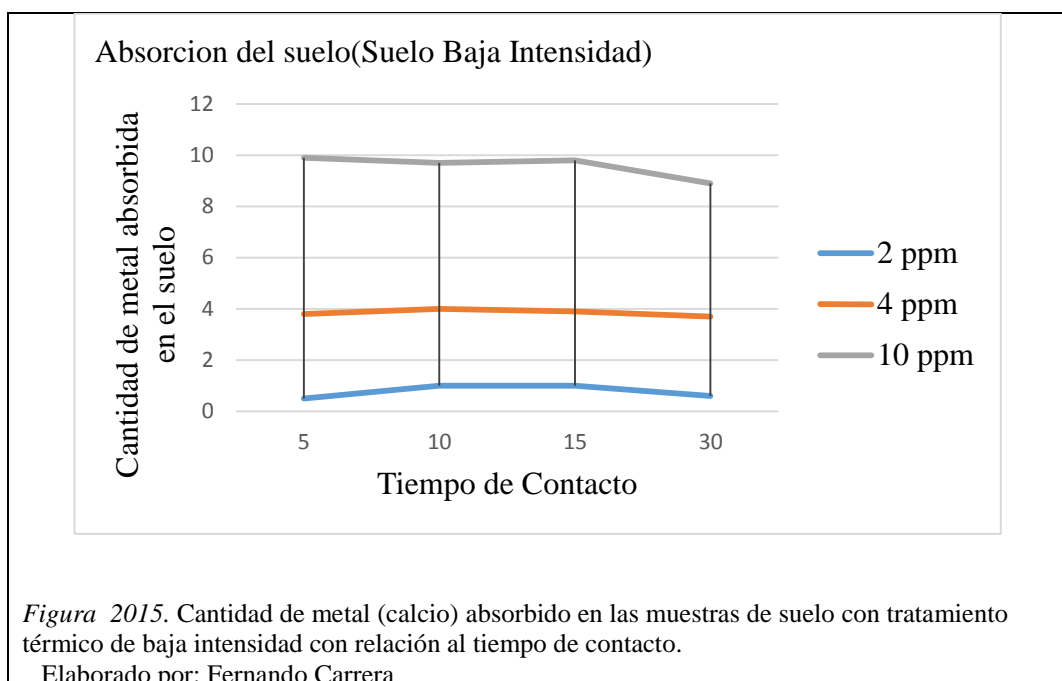
Matriz	Cantidad De Matriz Empleada (g)	Concentración de Ca (ppm)/0,1mg en cada Matriz.
Suelo Sin Quemar	4	8,2
Suelo Quemado Baja Intensidad	4	10,7
Suelo Quemado Media Intesidad	4	11,6
Suelo Quemado Alta Intensidad	4	12,8

Nota: contenido de calcio en las muestras de suelo.

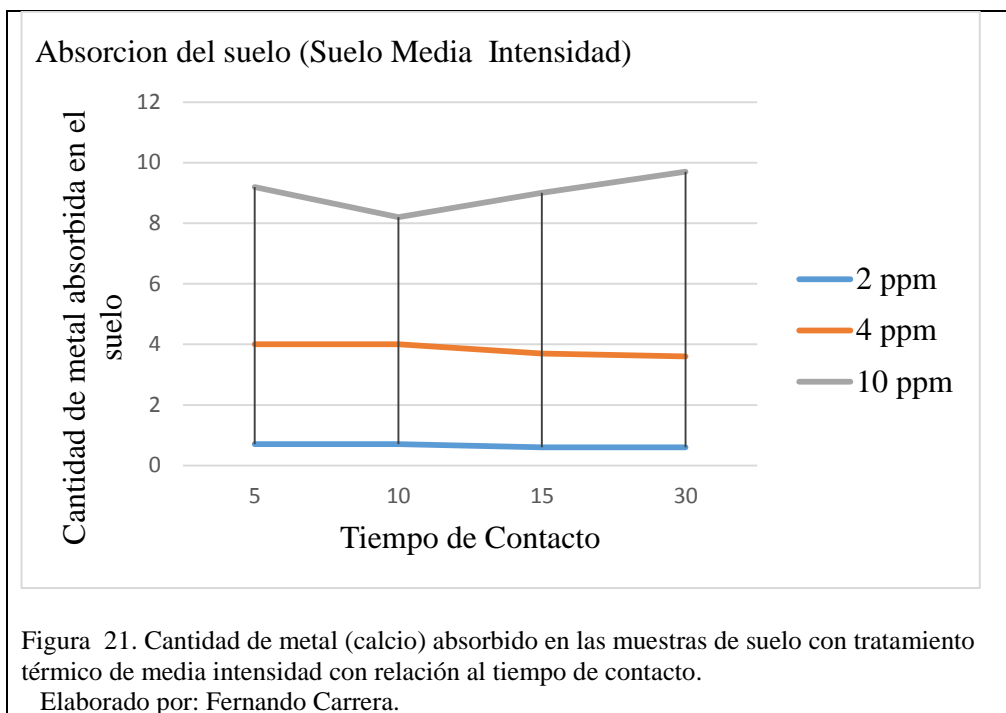
En el presente trabajo de investigación la sorción de Calcio en solución acuosa en contacto con una matriz (muestras de suelo) cuenta con 4 niveles para el factor A, niveles que hacen referencia a las matrices o tratamientos (suelo sin quemar, suelo quemado a baja intensidad, suelo quemado a media intensidad y suelo quemado a alta intensidad), 3 niveles del factor B que hace referencia a la concentración del calcio en la solución en ppm (2, 4, 10), y 4 niveles del factor C que constituyen los tiempos de contacto (5, 10, 15 y 30 minutos). Además cada repetición del experimento contiene todas las combinaciones posibles entre los tres factores (tratamiento o matriz, concentración de calcio y tiempo de contacto). Los resultados obtenidos para la sorción del calcio se muestran a continuación.



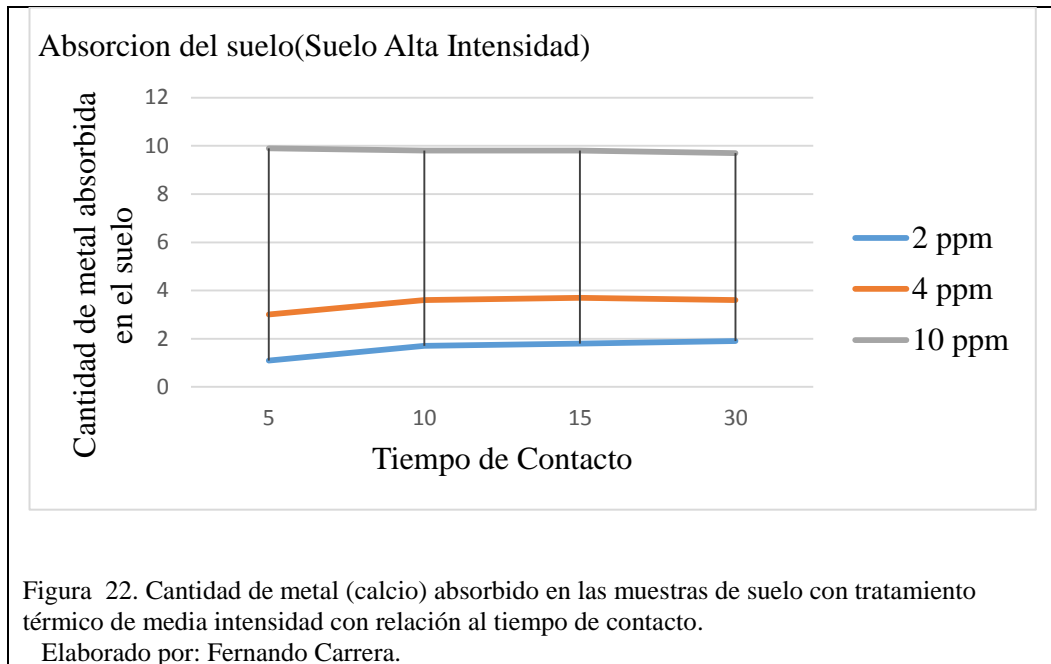
Como se puede apreciar en la figura 19 los valores de retención de calcio en las matriz sin tratamiento térmico es superior cuando la concentración de la solución acuosa es menor para el caso de nuestro estudio 2 ppm el valor retenido se aproxima a 1.64 pmm en el tiempo de contacto de 15 min, con respecto a las demás concentraciones la retención es similar para todos los tiempos de contacto observando una leve diferencia en la concentración de 4ppm de igual manera a los 15 minutos de contacto.



Como se puede apreciar en la figura 20 los valores de retención de calcio en las matriz en el que se ha aplicado el tratamiento térmico de baja intensidad es superior cuando la concentración de la solución acuosa es mayor para el caso de nuestro estudio 2 ppm el valor aproximado de retención es de 1.5 ppm a los 5 minutos de contacto aunque se nota que el valor es equivalente con la concentración de 10 ppm el valor se aproxima a 1.1 ppm con respecto al tiempo de contacto de 30 minutos, para la concentración de 4 ppm es casi constante para todo los tiempos de contacto.



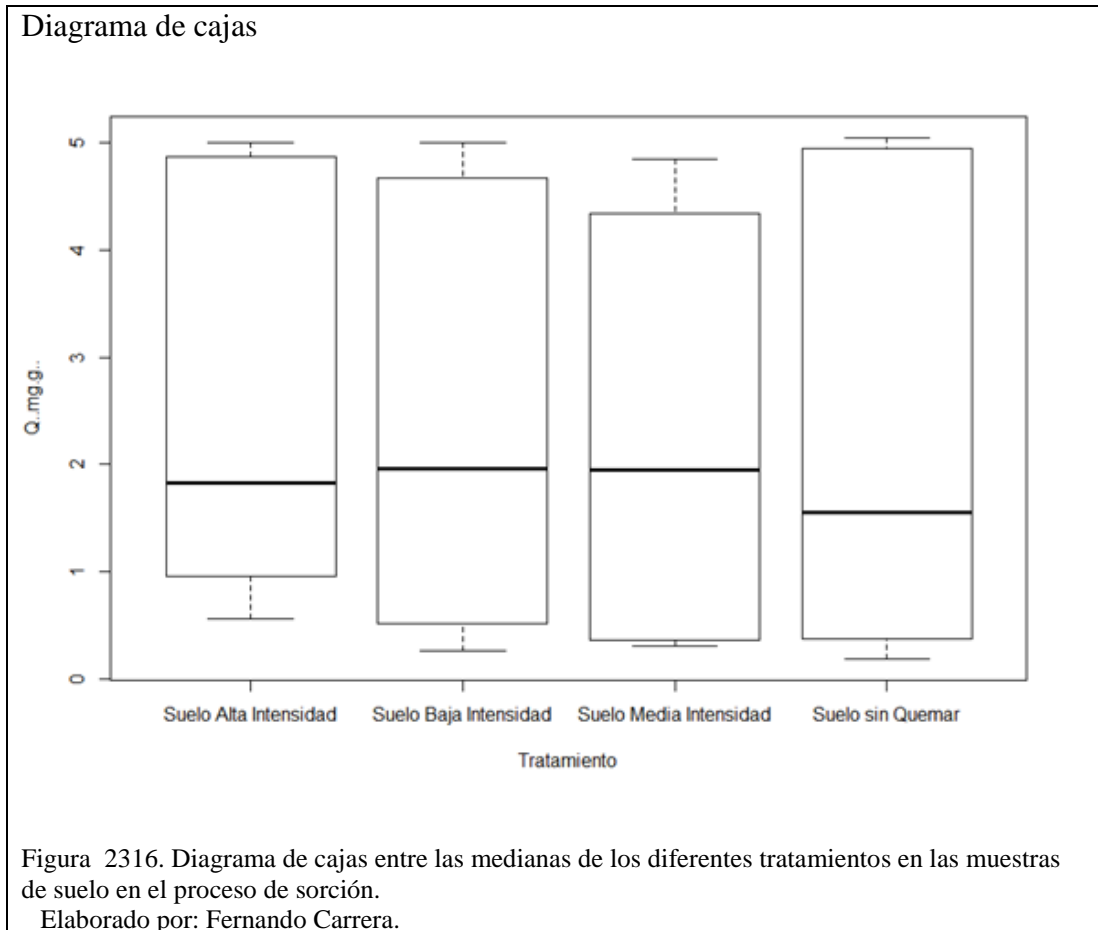
Como se puede apreciar en la figura 21 el valor de retención de calcio en la matriz en la que se ha aplicado el tratamiento térmico de media intensidad a diferencia a la figura anterior se nota que la mayor retención se da con la concentración de 2 ppm el valor se aproxima a 1.4 ppm para todos los tiempos de contacto. Para la concentración de 4 ppm se nota una breve sorción a los 30 minutos de contacto para la concentración de 10 ppm existe un notoria sorción a los 10 minutos de contacto.



Como se puede apreciar en la figura 22 el valor de retención de calcio en la matriz en la que se ha aplicado el tratamiento térmico de alta intensidad se nota en la concentración de 2 ppm el valor se aproxima 0.9 ppm para el tiempo de 5 minutos de contacto. El valor de retención se mantiene para las contracciones de 4 ppm y 10 ppm para todos los tiempos de contacto.

Para visualizar lo explicado en los gráficos expuestos anteriormente, se ha realizado la siguiente figura llamada de caja (figura 23), donde en el eje horizontal están los 4 tratamientos, y el eje vertical está representado por los valores de retención notándose que el tratamiento de baja intensidad, media intensidad y el suelo sin quemar tienen los valores de mediana más similar al compararlo con el tratamiento de alta intensidad con ello podríamos decir que la retención es similar en el suelo sin quemar y después de aplicar el tratamiento de baja y media intensidad en la matriz (muestra de suelo), además podemos observar que la longitud de esta caja son similares entre los tratamientos esto da a notar que los datos no son tan dispersos alrededor de dicha mediana. Por otro lado no se identifica la presencia de datos

atípicos dentro del mismo tratamiento esto podría atribuirse al comportamiento del equipo de absorción atómica con respecto al metal (Calcio) utilizado para las lecturas las misma que no variaban de una muestra a otra posiblemente por la interacción de la llama oxidante/reductora del mismo y el tiempo de contacto en la lectura.



El tratamiento estadístico podemos resumirlo en la figura 37, la misma que muestra un test de comparaciones múltiples que ayuda a cotejar las medianas de los niveles de un factor para nuestro estudio permitirá categorizar en forma jerárquica a los tratamientos térmicos utilizados para el proceso de sorción de calcio en las muestras de suelo.

Análisis de varianza

```
Rcmdr> numSummary(sorcion[, "Q..mg.g.."], groups=sorcion$Tratamiento,
Rcmdr+   statistics=c("mean", "sd", "se(mean)", "IQR"), quantiles=c(0,.25,.5,.75,1))
      mean      sd se(mean)      IQR data:n
Suelo Alta Intensidad  2.506041 1.826561 0.5272828 3.896866      12
Suelo Baja Intensidad  2.393341 1.914582 0.5526923 4.048099      12
Suelo Media Intensidad 2.270068 1.821375 0.5257856 3.882520      12
Suelo sin quemar      2.271189 2.072949 0.5984087 4.575868      12

Rcmdr> summary(AnovaModel.4)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  3    0.46    0.154    0.042  0.988
Residuals   44  160.78    3.654
```

Figura 23. Medias y Desviación Estándar entre tratamientos y test Anova (por Q max del proceso de sorcion).

Elaborado por: Fernando Carrera.

Tabla 15. Resultado del modelo de Langmuir.

Tratamientos	Modelos de Adsorción	Q (mg/g)	RL	R2
SQ	Langmuir	2,2713	0,22277262	0,4128
BI	Langmuir	2,3927	0,222624	0,3758
MI	Langmuir	2,2702	0,2225065	0,211
AI	Langmuir	2,5054	0,21872994	0,3695

Tabla 16. Resultado del modelo de Freundlich.

Tratamientos	Modelos de Adsorción	factor adimensional		
		K	1/n	R2
SQ	Freundlich	-0,11	-1,06382979	0,7871
BI	Freundlich	-0,09	-1,31578947	0,4057
MI	Freundlich	0,06	-2,43902439	0,1148
AI	Freundlich	-0,31	-0,84745763	0,4996

De acuerdo a la tabla 6 el valor de RL en el modelo de Langmuir hace referencia a que los tratamientos son isotérmicamente favorables y la tabla 7 el valor de R^2 determina la afinidad del sorbente con respecto al metal

La sorción es una propiedad del suelo sobre la cual el fuego tiene incidencia, se pudo identificar que la matriz (muestras de suelo), sin tratamiento térmico presente una sorción similar a las muestras que fueron sometidas los tratamientos de baja y media intensidad de calcio a concentraciones bajas (2 ppm) el porcentaje aproximado fue de 70 % de retención del metal, además se puede identificar que la

retención de calcio no varía en función del tiempo de contacto. Esto podría deberse a que el metal no tiene interacción con la matriz (muestras de suelo) después de los tratamientos térmicos. Algunos autores como (Úbeda, 2001), concluyen que el calcio disminuye en un suelo afectado por un incendio de baja intensidad pero aumenta significativamente en suelos afectados por incendios de media y alta intensidad esto justificaría el hecho de que el suelo sin quemar y quemado a baja intensidad tienen una mejor retención a diferencia al suelo quemado a alta intensidad posiblemente presente ya una saturación la que no permite la retención del metal.

6. CONCLUSIONES.

- Se determina que las zonas que son afectadas por el fuego (incendios forestales), presentan un efecto directo en la repelencia al agua del suelo, incrementando o disminuyendo dependiendo de la intensidad del fuego a la que es expuesta; La capacidad de sorción o retención de calcio es similar en las muestras antes y después del incendio.
- Al aplicar los tratamientos térmicos en las muestras de suelo de la REA se identificó que las zonas más afectadas es la parte superficial (en los primeros centímetros de profundidad), se presentaron variaciones de temperatura que se asemejan a incendios de baja media y alta intensidad.S
- La investigación determina que la presencia del fuego en el suelo provoca cambios tanto físicos como químicos en las propiedades evaluadas la mayoría de ellos después de aplicar el tratamiento térmico de baja intensidad.
- las condiciones iniciales de las muestras de suelo son un factor determinante en el proceso del tratamiento térmico ya que parámetros como la humedad, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno orgánico presentan una diferencia notables entre el suelo quemado y sin quemar.
- Con respecto a la repelencia al agua del suelo se determina que la intensidad del incendio es el factor primordial para observar una variación en la misma, al iniciar la presente investigación el suelo fue categorizado como Muy Fuertemente Hidrofóbico (después del secado y tamizado), el resultado luego del tratamiento térmico es un suelo Fuertemente Hidrofóbico reduciendo brevemente su repelencia al agua.
- La sorción de metales (calcio), por el suelo fue un parámetro que tuvo una ligera variación haciéndose evidente en las muestras de suelo que fueron sometidas al tratamiento de baja y media intensidad y en la matriz sin tratamiento térmico pero para concentraciones bajas el tiempo de contacto no tuvo mucha incidencia.

REFERENCIAS

- Aguilera., M. (2000). *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos.*
- Augoborde., L. (2008). *Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.* Universidad de la Frontera, Chile.
- Blayas, S. N., & Garcia., G. N. (2003). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.* Mundi-Presa.
- Bodí, M. B., Cerdà, A., Solera, J. M., & Doerr., S. (2012). *Repelencia al agua en suelos forestales afectados por incendios y en suelos agrícolas bajo distintos manejos y abandono.* Alicante.
- Camargo-Garcia, J., Dossman, M., Rodríguez, J., Arias, L., & Galvis-Quiteros., J. (2012). *Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados.* COLOMBIA: Acta Agronómica.
- Carballas., F. (2004). *Los incendios forestales.* GALICIA: Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia.
- Cárdenas, D., & Zapata, M. (2015). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS EN DOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS EXPUESTOS A DISTINTAS TEMPERATURAS SIMULANDO INCENDIOS FORESTALES.*
- Celis, R. d., Jordán, A., & Zavala., L. (2013). *EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.* Grandes incendios forestales, erosión, degradación y medidas de recuperación de suelos.

- Cerdà, A., & Jordán, A. (2010). *Actualización de Métodos y Técnicas Para El Estudio De Los Suelos Afectados por Incendios Forestales*. Valencia.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., Castillo, R. D., & Gutierrez., C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 2-13.
- DeBano, L. F. (2000). *Water repellency in soils: a historical overview*. Journal of.
- Elias., X. (2009). *Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Valoración y fabricación de materiales a partir de residuos. Reciclaje de residuos industriales (2ª Ed. p 101-102)*. España: Ediciones Díaz Santos.
- FLACSO. (2012). Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. *Letras Verdes*, 27-52.
- Flores, L., & Alcalá., J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos*. México D.F.
- FUEGORED. (2007). *Los incendios y el suelo. Obtenido de El fuego: ¿Factor ecológico natural o problema medioambiental?.* Obtenido de [//fuegored.weebly.com/los-incendios-y-el-suelo--wildfires-and-soil.html](http://fuegored.weebly.com/los-incendios-y-el-suelo--wildfires-and-soil.html)
- Fundación-Antisana. (2002). *Plan de manejo de la reserva ecológica Antisana*. Obtenido de <http://alfresco.ambiente.gob.ec:8096/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/f0389ebf-c004-4229-9182-1a035042952f/antisana.pdf>
- Gaitán, J., Bran, D., & Murray, F. (2007). *Efecto de la severidad de quemado sobre la concentración de carbono orgánico en montículos e intermontículos en el monte v. Ciencia del suelo*.

- García, C. P., Blanco, J. L., & Correa., G. V. (2009). *Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en el volcán El Pelado*. Mexico D.F: Investigaciones geográficas.
- García, C., Gil, F., Hernández, T., & Trazar., C. (2003). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos*. Madrid: S.A Mundi-Prensa.
- González-Vila, F., Martín, G. A., González-Pérez, J., Knicker, H., González-Vásquez, R., Hernández, Z., & Arranz., R. (2009). *Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio*.
- Jaramillo, D. F. (2004). *REPELENCIA AL AGUA EN SUELOS CON ÉNFASIS EN ADISOLES DE ANTIOQUIA*. Medellín.
- Jaramillo, J. G. (2015). *Evaluación de un Consorcio Microbiano con Predominio De Anabaena sp. En Suelos Quemados*. Quito.
- Lahuatte, B., & Recalde, M. (2015). *PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO COMO INSTRUMENTO EVALUACIÓN A LAS ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN IMPLEMENTADAS EN ÁREAS DEGRADADAS DE PÁRAMO, CASO DE ESTUDIO: MICROCUENCAS ANTISANA Y PITA*. QUITO.
- Llorent, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *ecosistemas REVISTA CIENTÍFICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE*.

- Mataix, J. S. (1999). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración.* ALICANTE: Universidad de Alicante.
- Mataix, J., & Guerrero., C. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas.* ALICANTE: Universidad Miguel Hernández.
- Mataix-Solera., J. (2006). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales Contribución a su conservación y regeneración.* ALICANTE.
- Molina., Y. (2006). *LA PARTICIPACIÓN COMUNITARIA EN LA PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES: ESTRATEGIAS QUE LA PROMUEVEN.* CARACAS.
- Novillo, M., & Vélez., C. (2015). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE CROMO EN SOLUCIÓN ACUOSA EN CONTACTO CON UN COMPOSITE CONSTITUIDO DE BENTONITA Y CELULOSA.* Quito.
- Radojević, M., & Bashkin., V. (1999). *Practical Environmental Analysis.*
- Ramalho., R. (1996/2003). *Tratamiento terciario de las aguas residuales. Tratamiento de aguas residuales.* EDITORIAL REVERTÉ, S. A.
- Rivas., G. (2006). *Caracterización de la Biosorción de cromo con hueso de aceituna. (Tesis de Doctorado).* (Tesis de Doctorado). España.
- Sánchez, J. J., Ibañez, J. D., & Sanz, J. (2007). *Impacto ecológico de los incendios forestales.* Revista de estudios albacetenses.

- Teijeiro, M. E. (2007). *EFFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA DEGRADACIÓN FÍSICA DE LOS SUELOS DE GALICIA*. Vigo.
- Úbeda, X. (2001). INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DE QUEMADO SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO DESPUÉS DE UN INCENDIO FORESTAL. *EDAFOLOGÍA*, 41-49.
- Ubeda, 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*, 34-42.
- Ulloa, V. C. (19 de 07 de 2016). *vMonitoreo de las alteraciones físico-químicas y cuantificación de carbono en parcelas de suelo afectada por fuego controlado*. Obtenido de CIVABI: <http://civabi.ups.edu.ec/CeiportalReportesProyectos-portlet/perfil?pc=500>
- USDA., N. R. (Junio de 2000). *USDA Soil Quality Resource Concerns: Hydrophobicity*. Obtenido de <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/>
- Varela., M. (2007). *Efectos de los incendios forestales en la degradación física de los suelos de Galicia*. GALICIA: Universidad de Vigo.
- Zagal, E., & Córdova., C. (2005). Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agricultura Técnica*, 186-197.

ANEXOS

Anexo 1. Determinación del contenido de materia orgánica en el suelo (Oxidación de la muestra con dicromato de potasio).

Se preparó previamente una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,083 M para lo cual se pesó y se secó en una estufa por 2 horas 24.518g del reactivo y posteriormente se lo disolvió en un litro de agua destilada. Para la titulación de preparo una solución de estándar de sulfato amónico férrico 0.2 M para lo cual se disolvió 78.39g de reactivo en agua destilada y se adiciona 20mL de ácido sulfúrico concentrado y luego se aforo esta mezcla a 1 litro.

Se pesó 0.5 gramos de muestra se colocó 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ y 15 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado en la muestra cuidadosamente se agito ya que dicha reacción desprende calor y se dejó reposar la muestra durante 30 minutos. Figura materia orgánica.

Posteriormente se adicionaron 5 gotas de ferroina con un gotero y cada muestra fue aforada a 100 mL. Finalmente se procedió a titular empleando la solución de sulfato amónico férrico hasta que se pueda observar un cambio de color (viraje) de verde azulado a rojo violeta. Se anotó el volumen gastado para el proceso de titulación y se procedió a realizar los cálculos para la determinación de los parámetros en mención

Anexo 2. Método de Bouyoucos, para la determinación de la textura del suelo.

Se pesaron 50 g de suelo de suelo tamizado por una malla de 2 mm. En un vaso de precipitación. Se preparó una solución de hexametáfosfato de sodio ($(NaPO_3)_6$) al 4%. Para llegar a la concentración deseada se toma la siguiente relación (40 gramos de reactivo se disuelve en agua, se agita llevándolo a un volumen de 1 litro). Se colocó 25ml de la solución preparada de $(NaPO_3)_6$ al 4% en cada una de

las muestras y se añadió agua destilada. Se dejó reposar durante 24 horas. Se añadió agua destilada en el vaso de precipitación y se agita aproximadamente durante 10 minutos. Se transfirió el contenido a una probeta y se afora hasta los 1.000 ml con agua destilada. Se agitó vigorosamente durante un par de minutos colocando la palma de la mano para tapar el cilindro. Terminada la agitación se colocó el hidrómetro dentro. Se tomó tomo lectura en del hidrómetro a los 40 segundo y a las 2 horas de haber colocado el mismo en la probeta (figura 8). No se realizó un factor de corrección en las medidas tomadas por el hidrómetro ya que la temperatura ambiente en el laboratorio era de 19°C.

Anexo 3. Método para la determinación de la humedad del suelo (Método termogravimétrico-termovolumétrico)

Se comenzó tomando nota del peso de los crisoles, previamente se encero la balanza analítica, una vez realizado este procedimiento se pesó 2g de suelo en cada crisol, y por intermedio de la adición se calculó el valor del peso de la muestra húmeda (Peso del crisol + peso de la muestra), seguidamente se colocaron los crisoles dentro de la estufa por 24h a 105°C, transcurrido dicho tiempo y con l ayuda de una pinza metálica se extrajeron los crisoles de la estufa y fueron colocados dentro del desecador para obtener un peso aproximadamente constante (Figura 9). Finalmente se anotó los valores del peso de la muestra seca y se empleó la siguiente fórmula para el cálculo de la humedad del suelo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M1 - M2)}{M} * 100$$

Anexo 4. Método para la determinación de la repelencia al agua del suelo (Cerdà & Jordán, 2010).

En el método WDTP se deja caer gotas de agua sobre el suelo suavizado y tamizado a 2mm, y luego de esto se toma el tiempo en que la gota se tarda completamente en

atravesar el suelo. El método (TPE) se basa en la tensión superficial de una serie de disoluciones, estandarizadas de etanol en agua. El TPE proporciona una medida indirecta de la tensión superficial del suelo por lo tanto, indica la intensidad de la repelencia al agua del suelo (figura 10).

Para este método soluciones con distintas concentraciones de etanol (1%, 3%, 5%, 8.5%, 13%, 18%, 24%, 36%), se procedió a dejar caer gotas de estas soluciones sobre el suelo tamizado y suavizado como lo describe la metodología. La altura desde la que se deja caer la gota no puede ser superior a 1cm para evitar la influencia de la fuerza cinética de cada gota. Se identifica el tiempo en el que cada gota de las diferentes concentraciones de la soluciones son absorbidas por completo por el suelo. El método WDPT se expresa en segundos y el Método TPE se expresa en concentración de etanol que es absorbida por la muestra (Cerdà & Jordán, 2010).

- **Procedimiento:**

Se tamizó la muestra con una malla de 2 mm y se ubicó en una caja Petri hasta cubrirla al borde.

Se dejó caer tres gotas de agua y se tomó el tiempo con un cronómetro, hasta que una de las tres gotas fue absorbida por completo en la muestra.

En caso de que las gotas sobrepasen los 10 segundos se realizó la prueba con distintas concentraciones de etanol (1%, 3%, 5%, 8,5%, 13%,18%, 24%, 36%).

Se procedió a realizar nuevamente la toma de tiempo primero con el porcentaje más bajo 1% si las gotas sobrepasaban los 10 segundo de penetración se pasaba a la siguiente concentración, hasta obtener un tiempo menor a los 10 segundos.

Anexo 5. Isotermas de Lagmuir y Freundlich para cada matriz (con y sin tratamiento térmico).

