

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**TEMA:
DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS CAMBIOS EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS EN DOS DIFERENTES TIPOS DE
SUELOS EXPUESTOS A DISTINTAS TEMPERATURAS SIMULANDO
INCENDIOS FORESTALES.**

**AUTORES:
DANIEL ALEJANDRO CÁRDENAS ORTIZ
EDISON MARCELO ZAPATA FLORES**

**DIRECTOR:
CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA**

Quito, mayo de 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores

Quito, mayo de 2015

Daniel Alejandro Cárdenas Ortiz
CC: 1718274630

Edison Marcelo Zapata Flores
CC: 1720091063

DEDICATORIA

A Dios, por bendecirme en el transcurso de este maravilloso viaje, haciéndome cada día más fuerte, paciente y sabio.

A mis padres, Patricio Cárdenas y Eva Ortiz, pilares fundamentales en mi vida, quienes me enseñaron a ser una mejor persona, además, por los consejos, regaños y sobre todo el amor y confianza que depositaron en mí y que espero, no defraudarlos nunca. A mis hermanos Christian, Paúl y Jonathan, que estuvieron incondicionalmente dispuestos a extenderme la mano en aquellos momentos difíciles. A mis hermanas y hermanos de otras madres, mis primos, en especial a Paola Espín, gracias por ayudarme a conseguir mi más grande objetivo hasta ahora.

A todos mis amigos y amigas de la universidad con los cuales hemos compartido varias anécdotas y que espero esta no sea la última. A Brenda, quien ocupa un lugar muy especial en mi vida y a Marcelo Zapata, compañero de tesis y mi buen amigo, quien siempre estuvo dispuesto a darme una mano y a quien digo “un último esfuerzo mano que si lo logramos”.

Daniel Alejandro Cárdenas Ortiz

A Dios por regalarme las bendiciones que hicieron posible que pueda concluir mis estudios universitarios cumpliendo así, uno de mis grandes sueños.

A mi familia especialmente, a mis padres Marcelo y Eleny por la paciencia, la confianza y el amor que han depositado en mí sobre todo en los momentos difíciles. A mis hermanas Tatys y Jaz gracias por ser siempre un apoyo, por los consejos, las peleas, las tristezas y las alegrías compartidas en este camino de la vida. A Alejo por cuidar de mi hermana. A mi sobrino Adrian que vino a llenar de alegría nuestro hogar con sus travesuras y ternura. A mi abuelita Evita que ha sido un ejemplo de fortaleza y lucha.

A mi compañero de tesis y gran amigo, Daniel Cárdenas por el apoyo y el esfuerzo demostrado en este trabajo de investigación. A mis buenos amigos y ahora colegas: Kleber, Jhonnatan, Cristian, Danny, Fernando, Kike, Lesly, Byron, Santiago gracias por los momentos, las historias y las anécdotas compartidas.

Edison Marcelo Zapata Flores

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por apoyarnos en la consecución de nuestro mayor objetivo universitario, llegar a ser buenos profesionales y personas de bien, a todos los maestros que han dejado una huella en nuestro corazón y de manera especial al Bioquímico Carlos Ulloa director del trabajo de investigación, quien nos guio con sus conocimientos y que consideramos como un amigo.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 3 |
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1 Generalidades | 3 |
| 1.3 Factores implicados en el calentamiento del suelo | 5 |
| 1.4 Intensidad y severidad de los incendios forestales | 7 |
| 1.4.1 Temperatura en un incendio forestal | 9 |
| 1.5 Incendios forestales en Ecuador | 11 |
| 1.6 Incendios forestales en el DMQ | 12 |
| CAPÍTULO 2 | 14 |
| ZONAS DE ESTUDIO | 14 |
| 2.1 Generalidades | 14 |
| 2.2 Antisana..... | 14 |
| 2.2.1 Ubicación Geográfica..... | 15 |
| 2.2.2 Ecología y Zonas de Vida | 15 |
| 2.2.3 Condiciones Agroecológicas..... | 16 |
| 2.2.4 Geología | 16 |
| 2.2.5 Geomorfología | 17 |
| 2.2.6 Suelo..... | 17 |
| 2.3 Ungüi..... | 18 |
| 2.3.1 Condiciones Agroecológicas..... | 18 |
| 2.3.2 Suelo..... | 19 |
| 2.3.3 Geología | 19 |
| 2.3.4 Geomorfología | 19 |
| 2.4 Localización geográfica de las zonas de estudio..... | 20 |
| CAPÍTULO 3 | 23 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 23 |
| 3.1 Método para la toma de muestras..... | 23 |
| 3.2 Tratamiento Térmico..... | 24 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.3 | Determinaciones Analíticas..... | 26 |
| 3.3.1 | Determinación de pH y conductividad eléctrica | 26 |
| 3.3.2 | Determinación de textura | 27 |
| 3.3.3 | Determinación de la densidad | 29 |
| 3.3.4 | Determinación de la humedad..... | 30 |
| 3.3.5 | Determinación de la repelencia al agua..... | 30 |
| 3.3.6 | Determinación de Materia orgánica y Carbono. | 31 |
| 3.3.7 | Determinación de Nitrógeno Kjeldahl | 33 |
| 3.4 | Tratamiento estadístico..... | 33 |
| | CAPÍTULO 4..... | 37 |
| | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 37 |
| 4.1 | Variación de la temperatura con relación al tiempo en la simulación de incendios de media y de alta intensidad..... | 37 |
| 4.1.1 | Muestras de Ungüi | 37 |
| 4.1.2 | Muestras de Antisana | 46 |
| 4.1.3 | Correlación entre las muestras con la variable tratamiento térmico (temperatura superficial), de cada una de las zonas de estudio | 54 |
| 4.2 | pH..... | 57 |
| 4.2.1 | pH Ungüi | 57 |
| 4.2.2 | pH Antisana..... | 58 |
| 4.2.3 | Análisis de resultados de pH | 60 |
| 4.3 | Conductividad eléctrica..... | 61 |
| 4.3.1 | Conductividad eléctrica Ungüi..... | 61 |
| 4.3.2 | Conductividad eléctrica Antisana..... | 64 |
| 4.3.3 | Análisis de resultados de la conductividad eléctrica | 66 |
| 4.4 | Humedad | 66 |
| 4.4.1 | Humedad Ungüi | 67 |
| 4.4.2 | Humedad Antisana | 70 |
| 4.4.3 | Análisis de resultados de humedad | 71 |
| 4.5 | Densidad..... | 72 |
| 4.5.1 | Densidad Ungüi..... | 72 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.5.2 | Densidad Antisana..... | 75 |
| 4.5.3 | Análisis de resultados de densidad..... | 76 |
| 4.6 | Carbono Orgánico | 77 |
| 4.6.1 | Carbono orgánico Ungüi | 77 |
| 4.6.2 | Carbono orgánico Antisana..... | 80 |
| 4.6.3 | Análisis de resultados de carbono orgánico | 82 |
| 4.7 | Nitrógeno..... | 83 |
| 4.7.1 | Nitrógeno Ungüi..... | 83 |
| 4.7.2 | Nitrógeno Antisana | 86 |
| 4.7.3 | Análisis de resultados Nitrógeno..... | 88 |
| 4.8 | Materia orgánica..... | 89 |
| 4.8.1 | Materia orgánica Ungüi..... | 89 |
| 4.8.2 | Materia orgánica Antisana..... | 92 |
| 4.8.3 | Análisis de resultados de materia orgánica | 94 |
| 4.9 | Textura. | 95 |
| 4.9.1 | Textura Ungüi | 95 |
| 4.9.2 | Textura Antisana | 96 |
| 4.10 | Repelencia | 98 |
| 4.11 | Correlación de los parámetros mediante el método de Pearson..... | 100 |
| 4.11.1 | Correlación parámetros Ungüi | 100 |
| 4.11.2 | Correlación parámetros Antisana | 102 |
| | CONCLUSIONES | 104 |
| | LISTA DE REFERENCIA | 106 |
| | GLOSARIO DE TÉRMINOS | 109 |
| | ANEXOS | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Triángulo del fuego..... | 4 |
| <i>Figura 2.</i> Factores implicados en el calentamiento del suelo en un incendio forestal | 6 |
| <i>Figura 3.</i> Hectáreas afectadas en el país por incendios forestales..... | 12 |
| <i>Figura 4.</i> Mapa incendios forestales en el DMQ (2009) | 13 |
| <i>Figura 5.</i> Reserva Ecológica Antisana..... | 20 |
| <i>Figura 6.</i> Localización geográfica de la zona de muestreo Antisana | 21 |
| <i>Figura 7.</i> Área de la zona de muestreo sector Ungüi..... | 22 |
| <i>Figura 8.</i> Proceso de toma de muestras | 23 |
| <i>Figura 9.</i> Tratamiento térmico..... | 26 |
| <i>Figura 10.</i> Temperatura vs tiempo M1 Ungüi | 39 |
| <i>Figura 11.</i> Temperatura vs tiempo M2 Ungüi | 41 |
| <i>Figura 12.</i> Temperatura vs tiempo M3 Ungüi | 43 |
| <i>Figura 13.</i> Temperatura vs tiempo M3 Ungüi | 45 |
| <i>Figura 14.</i> Temperatura vs tiempo M1 Antisana..... | 47 |
| <i>Figura 15.</i> Temperatura vs tiempo M2 Antisana..... | 49 |
| <i>Figura 16.</i> Temperatura vs tiempo M3 Antisana..... | 51 |
| <i>Figura 17.</i> Temperatura vs tiempo M3 Antisana..... | 53 |
| <i>Figura 18.</i> Correlación M2 vs M1 (temperatura superficial) Ungüi | 54 |
| <i>Figura 19.</i> Correlación M4 vs M1 (temperatura superficial) Ungüi | 55 |
| <i>Figura 20.</i> Correlación M4 vs M1 (temperatura superficial) Antisana | 55 |
| <i>Figura 21.</i> Correlación M3 vs M2 (temperatura superficial) Antisana | 56 |
| <i>Figura 22.</i> pH vs Muestras (Ungüi)..... | 57 |
| <i>Figura 23.</i> pH vs Muestras (Antisana)..... | 59 |
| <i>Figura 24.</i> Conductividad eléctrica vs Muestras (Ungüi)..... | 62 |
| <i>Figura 25.</i> Conductividad eléctrica vs Muestras (Antisana) | 64 |
| <i>Figura 26.</i> Humedad vs Muestras (Ungüi) | 67 |
| <i>Figura 27.</i> Humedad vs Muestras (Antisana)..... | 70 |
| <i>Figura 28.</i> Densidad vs Muestras (Ungüi)..... | 72 |
| <i>Figura 29.</i> Densidad vs Muestras (Antisana) | 75 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 30.</i> Carbono orgánico vs Muestras (Ungüi)..... | 78 |
| <i>Figura 31.</i> Carbono orgánico vs Muestras (Antisana)..... | 81 |
| <i>Figura 32.</i> Nitrógeno vs Muestras (Ungüi)..... | 84 |
| <i>Figura 33.</i> Nitrógeno vs Muestras (Antisana) | 87 |
| <i>Figura 34.</i> Materia Orgánica vs Muestras (Ungüi)..... | 90 |
| <i>Figura 35.</i> Materia Orgánica vs Muestras (Antisana) | 93 |
| <i>Figura 36.</i> Correlación (Ungüi) | 117 |
| <i>Figura 37.</i> Correlación (Ungüi) | 117 |
| <i>Figura 38.</i> Correlación (Ungüi) | 118 |
| <i>Figura 39.</i> Correlación (Antisana)..... | 118 |
| <i>Figura 40.</i> Correlación (Antisana)..... | 119 |
| <i>Figura 41.</i> Correlación (Antisana)..... | 119 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Factor de corrección para textura..... | 28 |
| Tabla 2. Clasificación de los suelos según su textura | 29 |
| Tabla 3. Relación temperatura – tiempo | 34 |
| Tabla 4. Resultado análisis..... | 35 |
| Tabla 5. Resultado análisis ANOVA | 35 |
| Tabla 6. Resultado Análisis prueba de Tukey..... | 36 |
| Tabla 7. Relación temperatura vs tiempo Muestra 1 Ungüi (IM). | 38 |
| Tabla 8. Relación temperatura vs tiempo Muestra 2 Ungüi (IM). | 40 |
| Tabla 9. Relación temperatura vs tiempo M3 Ungüi (IA). | 42 |
| Tabla 10. Relación temperatura vs tiempo M4 Ungüi (IA). | 44 |
| Tabla 11. Relación temperatura vs tiempo M1 Antisana (IM). | 46 |
| Tabla 12. Relación temperatura vs tiempo M2 Antisana (IA). | 48 |
| Tabla 13. Relación temperatura vs tiempo M3 Antisana (IA). | 50 |
| Tabla 14. Relación temperatura vs tiempo M4 Antisana (IM). | 52 |
| Tabla 15. Resultados de análisis pH (Ungüi)..... | 57 |
| Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) pH Ungüi | 58 |
| Tabla 17. Resultados de análisis pH (Antisana)..... | 58 |
| Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) pH Antisana | 59 |
| Tabla 19. Análisis prueba de Tukey para pH con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana)..... | 60 |
| Tabla 20. Resultados de análisis conductividad eléctrica (Ungüi) | 61 |
| Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) conductividad eléctrica (Ungüi) | 62 |
| Tabla 22. Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)..... | 63 |
| Tabla 23. Análisis prueba de Tukey para conductividad con fuente de variación profundidad (Ungüi)..... | 63 |
| Tabla 24. Resultados de análisis conductividad eléctrica (Antisana) | 64 |
| Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) conductividad eléctrica (Antisana)..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabla 26. Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana) | 65 |
| Tabla 27. Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación profundidad (Antisana) | 66 |
| Tabla 28. Resultados de análisis Humedad (Ungüi) | 67 |
| Tabla 29. Análisis de varianza (ANOVA) Humedad (Ungüi) | 68 |
| Tabla 30. Análisis de la prueba de Tukey para humedad con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi) | 68 |
| Tabla 31. Análisis de la prueba de Tukey para la humedad con fuente de variación profundidad (Ungüi) | 69 |
| Tabla 32. Análisis de la prueba de Tukey para la humedad con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi) | 69 |
| Tabla 33. Resultados de análisis Humedad (Antisana) | 70 |
| Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) Humedad (Antisana) | 71 |
| Tabla 35. Resultados de análisis densidad (Ungüi) | 72 |
| Tabla 36. Análisis de varianza (ANOVA) Densidad (Ungüi) | 73 |
| Tabla 37. Análisis prueba de Tukey para densidad con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi) | 73 |
| Tabla 38. Análisis prueba de Tukey para densidad con fuente de variación profundidad (Ungüi) | 74 |
| Tabla 39. Análisis de la prueba de Tukey para densidad con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi) | 74 |
| Tabla 40. Resultados de análisis densidad (Antisana) | 75 |
| Tabla 41. Análisis de varianza (ANOVA) Densidad (Antisana) | 76 |
| Tabla 42. Análisis prueba de Tukey para de densidad con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana) | 76 |
| Tabla 43. Resultados de análisis carbono orgánico (Ungüi) | 77 |
| Tabla 44. Análisis de varianza (ANOVA) Carbono orgánico (Ungüi) | 78 |
| Tabla 45. Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi) | 79 |

| | |
|---|----|
| Tabla 46. Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación profundidad (Ungüi)..... | 79 |
| Tabla 47. Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)..... | 80 |
| Tabla 48. Resultados de análisis carbono orgánico (Antisana) | 80 |
| Tabla 49. Análisis de varianza (ANOVA) Carbono orgánico (Antisana) | 81 |
| Tabla 50. Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana). | 82 |
| Tabla 51. Resultados de análisis de Nitrógeno (Ungüi) | 83 |
| Tabla 52. Análisis de varianza (ANOVA) Nitrógeno (Ungüi)..... | 84 |
| Tabla 53. Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)..... | 85 |
| Tabla 54. Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación profundidad (Ungüi)..... | 85 |
| Tabla55. Análisis de la prueba de Tukey para nitrógeno con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)..... | 86 |
| Tabla 56. Resultados de análisis de Nitrógeno (Antisana)..... | 86 |
| Tabla 57. Análisis de varianza (ANOVA) Nitrógeno (Antisana)..... | 87 |
| Tabla 58. Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana) | 88 |
| Tabla 59. Resultados de análisis de materia orgánica (Ungüi)..... | 89 |
| Tabla 60. Análisis de varianza (ANOVA) Materia orgánica (Ungüi)..... | 90 |
| Tabla 61. Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)..... | 91 |
| Tabla 62. Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación profundidad (Ungüi)..... | 91 |
| Tabla 63. Análisis de la prueba de Tukey para materia orgánica con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)..... | 92 |
| Tabla 64. Resultados de análisis de materia orgánica (Antisana) | 92 |
| Tabla 65. Análisis del modelo ANOVA para materia orgánica (Antisana) | 93 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 66. Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana) | 94 |
| Tabla 67. Resultados de la textura (Ungüi) | 95 |
| Tabla 68. Resultados de la textura (Antisana)..... | 96 |
| Tabla 69. Grado de Repelencia de las Muestras..... | 98 |
| Tabla 70. Correlación de los parámetros estudiados(Ungüi)..... | 100 |
| Tabla 71. Correlación de los parámetros estudiados (Antisana)..... | 102 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Fotografías de la muestras de Ungüi antes y después de la simulación de incendios forestales..... | 111 |
| Anexo 2. Fotografías de la muestras Antisana antes y después de la simulación de incendios forestales..... | 112 |
| Anexo 3. Análisis de laboratorio..... | 113 |
| Anexo 4. Correlaciones R^2 | 117 |

RESUMEN

Se realizaron simulaciones de incendios forestales en muestras de suelo correspondientes a dos zonas de la ciudad de Quito con un historial diferente en la ocurrencia de incendios forestales y características diferentes de humedad, materia orgánica, repelencia al agua y vegetación existente. De ambas zonas se escogieron muestras testigos y muestras que soportarían temperaturas específicas de incendios de media y alta intensidad utilizando un horno a GLP construido para alcanzar temperaturas máximas de 800 °C con las puertas abiertas.

Las máximas temperaturas registradas en las muestras a nivel superficial corresponden a la zona de Ungüi 371 °C y a la zona del Páramo del Antisana 310 °C. Se observaron pérdidas de humedad en los suelos de la zona del páramo de hasta un 30%, mientras que las pérdidas de humedad en los suelos de la zona de Ungüi fueron de hasta el 90% de la humedad inicial. Los datos obtenidos revelan un comportamiento diferente de los suelos especialmente en la repelencia al agua, parámetro que se ve intensificado en unos casos o destruido en otros.

La concentración de materia orgánica en las muestras de Antisana y Ungüi presentan valores distintos, dando mayor concentración en la zona de Antisana con respecto a la zona de Ungüi, teniéndose que, por la combustión de esta existe una afectación directa a los demás parámetros estudiados (pH, conductividad eléctrica, densidad, nitrógeno, carbono orgánico, textura, hidrorrepelencia).

ABSTRACT

Simulations of wildfires in soil samples corresponding to two areas of the city of Quito with a different record in the occurrence of forest fires and different features moisture, organic matter, water repellency and vegetation were performed. In both zones control samples and samples withstand temperatures of fires specific medium and high intensity using an oven at GLP built to achieve maximum temperatures of 800 ° C with open doors were chosen.

Maximum temperatures in the samples at surface corresponding to the area Ungüi 371 ° C and the area of Paramo Antisana 310 ° C. Moisture losses were observed in the soils of the area moor up to 30%, while losses of soil moisture Ungüi area were up 90% from the initial moisture. The data obtained show a different behavior of soils especially in water repellency, a parameter that is intensified in some cases or destroyed in others.

The concentration of organic matter in samples Antisana and Ungüi with different values, giving higher concentration near Antisana regarding Ungüi area, taking that for combustion of this there is a direct concern to the other parameters studied (pH, electrical conductivity, density, nitrogen, organic carbon, texture, water repellency).

INTRODUCCIÓN

Uno de los efectos que trae consigo el cambio climático es la ocurrencia más frecuente de incendios forestales, convirtiendo a estos en un grave problema medioambiental. Los daños ambientales que estos incendios producen son la destrucción de la vegetación lo cual facilita los procesos de erosión y altera el régimen hidrológico.

En las temporadas secas, las altas temperaturas, los fuertes vientos y la baja humedad relativa crea condiciones propicias para que el fuego se propague rápidamente.

Por otra parte la acumulación de combustible ligero en el monte como hierba seca y vegetación arbustiva que se desarrolla abundantemente hace que cada foco de calor pueda provocar un incendio.

Los incendios forestales pueden ser de origen natural cumpliendo determinados ciclos o pueden ser de origen antrópico respondiendo a un entendimiento cultural a través de prácticas tradicionales, o a un entendimiento social desde una perspectiva de uso y ocupación de espacios naturales relacionados con actividades agropecuarias, expansión urbana y usos turísticos que pueden producir fuego de forma voluntaria e involuntaria (FUEGORED, 2007).

En nuestro país específicamente en la ciudad de Quito, se han registrado grandes incendios en temporadas secas. Datos del 2009 presentados por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, a través del Centro de Gestión de Información Ambiental llegaron a determinar unas 2700 ha quemadas solo en el 2009 equivalentes al 0,6% de la superficie del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

Mientras que la Secretaria Nacional de Riesgos en el año 2012 declaró alerta naranja en nueve provincias afectadas por incendios, los cuales se originaron de forma natural y antropogénica, afectando un total de 18578 ha, siendo en su gran mayoría bosques, pajonales y cultivos de la región sierra.

Además, en el DMQ se pueden encontrar diferentes ecosistemas, entre los cuales se pueden incluir los páramos, en los que se sabe que una característica importante del suelo, es que los procesos de deshidratación son irreversibles, y por lo tanto, al producirse un calentamiento en el suelo a consecuencia de un incendio, este pierde condiciones de infiltración y acumulación del agua, lo cual conlleva a una mayor y fácil degradación del ecosistema (Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP), 2000).

Debemos mencionar que los ecosistemas de páramo son lugares que en su mayoría han evolucionado en condiciones libres de incendios, es por esta razón que en el momento de un incendio la estructura y composición de la vegetación presente en el páramo se verá altamente afectada y con dificultad volverá a su estado original o lo hará de manera muy lenta, debido a que en el incendio los individuos jóvenes, de su vegetación, son los que mueren primero.

Una motivación que nos lleva a realizar este estudio, es que, bibliográficamente en el país no se cuenta con información sobre las alteraciones físico químicas que ocurren en los suelos, y el comportamiento que tienen diferentes tipos de suelos expuestos a altas temperaturas.

Es nuestra intención abordar con seriedad este problema ambiental y comprender cómo reaccionarán los suelos ante la exposición al fuego, además, con esto se tendrá una referencia para futuras investigaciones dirigidas a la recuperación de los suelos afectados por incendios forestales.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades

Los incendios forestales son la combustión de una considerable cantidad de un material combustible vegetal en presencia de una fuente de calor.

Los incendios forestales han sido desde siempre un factor ecológico que ha jugado un papel importante como agente modelador de la composición 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 ocasiones irreversibles (Mataix S. J., 1999, pág. 17).

El fuego debe de ser entendido sobretodo como uno de los procesos planetarios clave, junto al clima, que ha condicionado la evolución, la dispersión de plantas y el desarrollo de los biomas, la formación de suelos y los ciclos hidrológico y erosivo.

“Los incendios forestales en la Tierra son permanentes y persistentes. Cualquier imagen de satélite muestra la presencia de humo y fuego en alguna parte del mundo a diario” (Cerdà & Mataix, 2010, pág. 35).

1.2 Elementos de un incendio forestal

En un incendio forestal existen tres elementos coincidentes que constituyen el triángulo del fuego, estos son:

- Combustible, que es toda materia o sustancia que puede arder, sea esta líquida, gaseosa o sólida, en nuestro caso es toda la vegetación presente.
- Oxígeno, que se encuentra en un 21% en la atmósfera.
- La fuente de calor o la energía necesaria (chispa) para que inicie la combustión.

La vegetación forestal (árboles vivos, sotobosque y matorral), así como los materiales muertos que se encuentran sobre la superficie del suelo en las formaciones vegetales, incluso, la materia orgánica del suelo, constituyen el combustible que normalmente se encuentra en grandes cantidades en los ecosistemas forestales (Carballas, 2004, pág. 364).

“Este combustible, que se clasifica en ligero (hierbas, hojas, acículas y ramitas), pesado (troncos, ramas y raíces) y verde (plantas vivas con su follaje), cada una de ellas presentan características específicas de: temperatura de ignición, combustibilidad, poder calorífico, etc.” (Carballas, 2004, pág. 365).



Según el material afectado se tiene distintos tipos de incendios forestales.

- **Incendios de superficie**

Se propaga por el combustible encontrado sobre el terreno, quemando la vegetación herbácea, matorrales, los restos y despojos vegetales (leñas muertas, hojarasca, etc.).

- **Incendios de copas**

Existen varias clases de incendios:

Antorcheo: paso de fuego de superficie a copas pero de forma puntual.

Pasivo: es el fuego que avanza por las coronas de los árboles, acoplado a un fuego de superficie, pero no independiente de él.

Activo: es el fuego que avanza por las coronas de los árboles, independientemente de lo que ocurre en la superficie, este necesita viento y proximidad de las copas.

- **Incendios de subsuelo**

Son fuegos lentos de propagación, sin llamas y con escaso desprendimiento de humo que afectan a la materia orgánica. El incendio de subsuelo progresa a través de tocones (raíces gruesas) y de materia orgánica fresca acumulada.

1.3 Factores implicados en el calentamiento del suelo

El suelo generalmente es un mal conductor de calor, pero la transmisión del calor depende de diversos factores como: topografía, tipo de suelo, condiciones atmosféricas, tipo de vegetación y humedad (Mataix & Guerrero, 2007, pág. 11).

En un suelo seco la transferencia de calor es principalmente por conducción. El calor se transmite a través de las moléculas de los cuerpos sólidos sin que éstas se desplacen y por convección de gases calientes a través de la matriz de poros del suelo. Por otro lado, cuando el suelo está húmedo se incrementa la capacidad de absorber calor sin incrementarse la temperatura hasta que el agua se vaporiza (Mataix & Guerrero, 2007, pág. 11).

Calentamiento del suelo

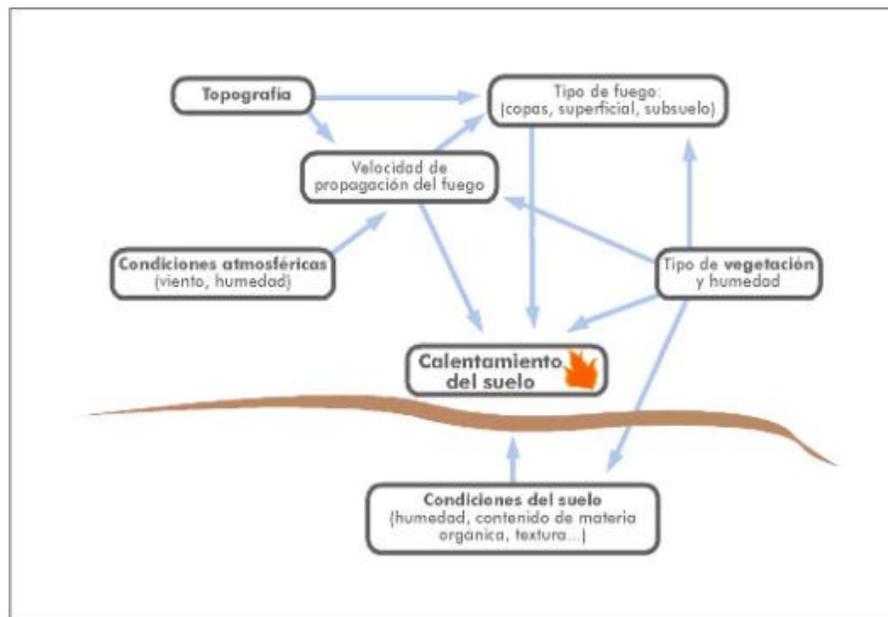


Figura 2. Factores implicados en el calentamiento del suelo en un incendio forestal
Fuente: (Varela, 2007, pág. 22)

La humedad relativa del aire, que depende de la humedad atmosférica y de la temperatura, influye indirectamente en el riesgo de incendio a través del poder desecante que ejerce la atmósfera sobre la vegetación y sobre el suelo, en los días más calurosos y secos. El grado de humedad del suelo se relaciona con la turgencia de las plantas de manera que cuando la humedad del suelo disminuye hasta alcanzar el punto de marchitez, la susceptibilidad de la vegetación a los incendios es máxima. (Varela, 2007, pág. 23).

El viento renueva la masa de aire en contacto con la vegetación, facilitando la evapotranspiración y desecamiento de las plantas. Por otra parte, el viento, al renovar el oxígeno aviva la combustión y también favorece la velocidad de propagación del fuego.

El porcentaje de luz solar que llega al suelo influye en la temperatura alcanzada por el mismo y éste varía en función del grado de cobertura

vegetal. Además, la radiación solar condiciona la biomasa vegetal o cantidad de material combustible que se acumula sobre el suelo, así como otros parámetros microclimáticos como puede ser la humedad ambiental (Varela, 2007, pág. 23).

La velocidad de propagación del fuego influye en la intensidad del mismo y en el tiempo de exposición del suelo a altas temperaturas, siendo los incendios lentos los que producen unos efectos más perjudiciales para el suelo. Las velocidades del fuego varían entre 0.1 m min^{-1} , las más lentas, y 50 m min^{-1} en los incendios más rápidos (Varela, 2007, pág. 23).

1.4 Intensidad y severidad de los incendios forestales

“La intensidad del fuego hace referencia a la tasa de consumo de combustible sobre el suelo y por tanto a la liberación de energía, lo que está relacionado a la velocidad que se consume una determinada cantidad de combustible” (Pascual, 2011, pág. 18).

La severidad del fuego es un término cualitativo que se utiliza para describir las respuestas de los ecosistemas al fuego y es especialmente útil para describir los efectos del suelo en el fuego. “Ésta es dependiente de las temperaturas registradas en el suelo y del tiempo de residencia de dichas temperaturas” (Mataix & Guerrero, 2007, pág. 12).

Los incendios forestales, tanto de una manera directa como indirecta provocan modificaciones físico químicas en los suelos afectados, si estos son de gran intensidad producen la quema del carbono orgánico, reducción del nitrógeno debido a la incineración de sustancias orgánicas nitrogenadas y una mineralización de elementos fertilizantes contenidos en los residuos vegetales (Mataix S. J., 1999, pág. 47).

Las alteraciones físicas ocurridas en el suelo posterior al paso del fuego tienen relación con la temperatura a la que fueron expuestas las diferentes zonas del suelo, por ejemplo a 220°C no se ven cambios significativos en

el suelo, en cambio temperaturas entre 220 y 460°C, causan la combustión de algunas sustancias orgánicas del suelo generando moléculas que pueden tener efectos por ejemplo en la hidrorrepelencia del suelo, textura y estabilidad de agregados (Ulloa V. C., 2013, pág. 3).

Los incendios forestales pueden ocasionar cambios texturales en los suelos, tanto de una manera directa como indirecta. Se han observado en zonas afectadas por el fuego, aumento de partículas gruesas, como arena y grava y disminuciones por tanto en los contenidos de partículas finas como arcilla y limo inmediatamente después del fuego. Este efecto, según diversos autores, aún se puede observar transcurridos dos años del incendio y son probablemente debidos a reagrupamientos de las partículas minerales (Mataix S. J., 1999, págs. 63-64).

Los efectos de los incendios forestales orientados a las alteraciones de las características químicas incluyen por ejemplo, cambios en el pH, estos cambios se dan inmediatamente como efecto del paso del fuego en los suelos y como tal, afecta la dinámica de la solubilización/ insolubilización de los nutrientes en el suelo, es por esto que el control del pH se debe hacer inmediatamente luego de ocurrida la quema del suelo (Ulloa V. C., 2013, pág. 3).

Generalmente los valores de pH se incrementan en los suelos quemados. Ello se debe, sobre todo, a que las cenizas aportan carbonatos, óxidos y cationes básicos. La conductividad eléctrica, y por lo tanto la salinidad, también aumentan notablemente por la incorporación y solubilización de las cenizas (Mataix & Guerrero, 2007, págs. 16-17).

“Parte del nitrógeno total se pierde por volatilización, pero la magnitud está relacionada directamente con las temperaturas alcanzadas en el suelo y con la materia orgánica consumida” (Mataix & Guerrero, 2007, pág. 10).

Las alteraciones de un suelo tras el paso de un incendio pueden darse en corto, mediano y largo plazo. Los efectos inmediatos se producen como resultado de la liberación de productos químicos en las cenizas creadas por la combustión de la biomasa.

La combustión de biomasa y de materia orgánica también origina liberación de gases y otros contaminantes a la atmósfera, del mismo modo los cambios inducidos por el fuego sobre los componentes biológicos como microorganismos en el suelo y vegetación ocurren rápidamente y producen una respuesta de gran magnitud. A largo plazo, los efectos del fuego pueden estar en relación entre el fuego, los suelos, la hidrología y el ciclo de nutrientes (Ulloa V. C., 2013, pág. 3).

1.4.1 Temperatura en un incendio forestal

La temperatura en un incendio forestal es muy variada dependiendo del tipo de incendio que se lleve a cabo, así:

- Incendio de baja, intensidad caracterizado por la presencia de cenizas negras (restos vegetales chamuscados) en el horizonte superficial del suelo, en cuya superficie, la temperatura puede variar entre 100 y 250 °C, y a 1-2 cm de profundidad la temperatura es menor de 100 °C (Carballas, 2004, pág. 365).
- Incendio de intensidad media, en los que se produce una combustión parcial de la materia orgánica, desapareciendo la mayoría de los restos vegetales, la temperatura alcanzada oscila entre 300 y 400 °C en la superficie, con temperaturas de 200-300 °C a 1 cm de profundidad, 60-80 °C a 3 cm y 40-50 °C a 5 cm (Carballas, 2004, pág. 365).

- Incendio de alta intensidad, cuando aparecen cenizas blancas en la superficie del suelo, lo que indica una combustión total de los combustibles, alcanzándose en la superficie temperaturas comprendidas entre 500 y 700 °C, 350-450 °C a 2 cm, 150–300 °C a 3 cm y 100 °C o menos a 5 cm. En general, el calentamiento no afecta al suelo a más de 7-10 cm de profundidad (Carballas, 2004, pág. 365).

Dependiendo del tipo de incendio e intensidad, así como el tipo de suelo y vegetación, los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo serán más o menos notables. En todo caso, la combustión de la vegetación y de la hojarasca muerta, libera nutrientes que estaban inmovilizados en ella (Mataix & Guerrero, 2007, pág. 10).

En ocasiones las zonas incendiadas no requieren actuación alguna, pero en otros casos, el fuego puede afectar notoriamente a propiedades edáficas como pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio, materia orgánica, agregados, textura, densidad aparente, capacidad de retención de humedad, fertilidad química, hidrofobicidad, y alteraciones en la microbiología del suelo (Almorox, López, & Rafaelli, 2010, pág. 46).

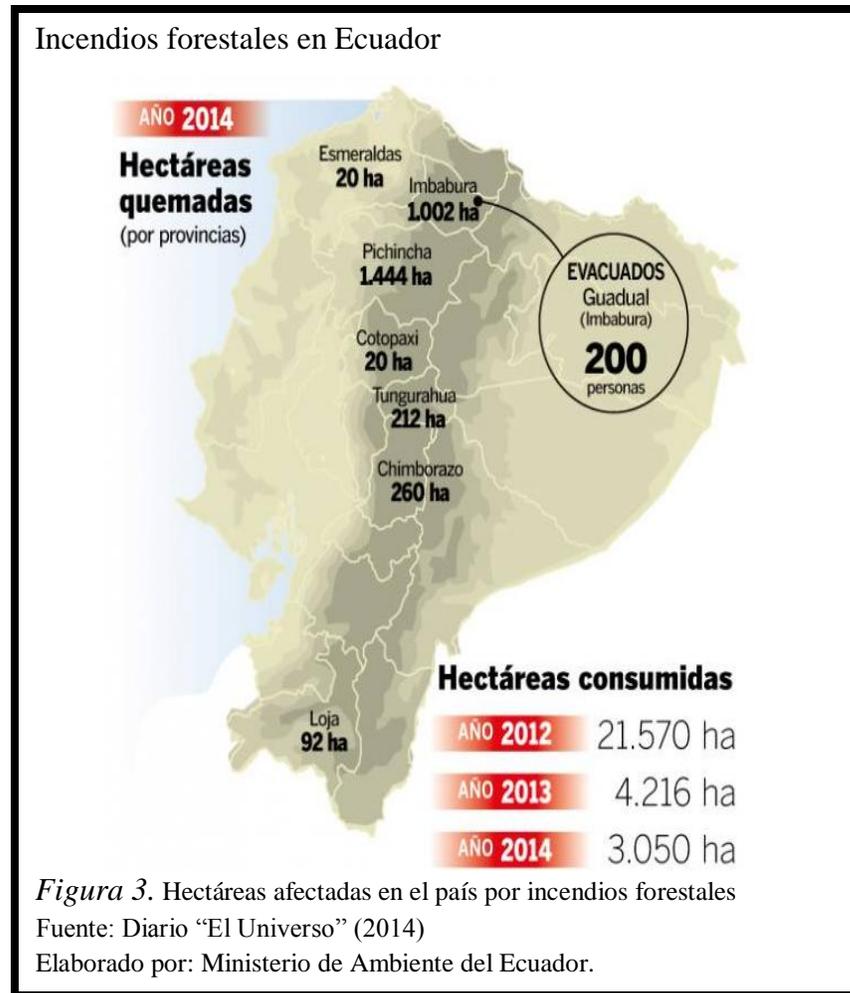
En cualquier caso debemos tener en mente que los incendios forestales no siempre son eventos catastróficos. En algunos casos se produce un leve quemado de las partes aéreas de la vegetación, produciéndose una “fertilización” del suelo, y una renovación o cambio en la situación trófica de ciertos elementos, secuestrados en la vegetación. Así algunos autores han observado descensos de la productividad de ciertos ecosistemas tras la supresión de los ciclos naturales (Mataix & Guerrero, 2007, págs. 7-8).

1.5 Incendios forestales en Ecuador

Durante los meses de julio, agosto y septiembre los incendios forestales en Ecuador son recurrentes. Las altas temperaturas, la acumulación de material combustible y los fuertes vientos hacen que cualquier foco de calor se convierta en un posible incendio forestal. En el país el 90% de los incendios forestales son de origen antrópico y el 10% restante responde a ciclos naturales.

Según datos del Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) en el 2014 fueron afectadas 3050 ha, siendo las provincias de la sierra las más afectadas por los incendios forestales. En el 2013 unas 2500 ha de bosques fueron arrasadas por los incendios forestales, donde las zonas más afectadas fueron las provincias andinas de Pichincha, Imbabura, Tungurahua y Azuay.

“Durante el 2012 el territorio nacional sufrió los efectos de incendios forestales con mayor intensidad en las provincias de la Sierra, producto de este evento se afectaron 18.578 ha” (SNGR, 2012, pág. 36).



1.6 Incendios forestales en el DMQ

La topografía del terreno, las pendientes pronunciadas y los fuertes vientos, hacen que los incendios forestales en Quito sean difíciles de controlar, provocando diferentes consecuencias en términos de pérdida de áreas protegidas y de gran biodiversidad, degradación de suelos, afectación a espacios de propiedad pública y privada de diferentes usos y, en general, repercusiones al bienestar de la población.

El Centro de Gestión de Información Ambiental, Secretaría de Ambiente del DMQ según el estudio de Narváez (2012), reportaron que desde el 1 de junio a septiembre del 2012, dentro del DMQ se habían registrado más de 2400 incendios, los cuales llegaron a devastar más de 2300 ha a diferencia de los años 2010 y 2011 en donde se produjeron 1300 y 1200 incendios forestales respectivamente.

Los incendios forestales más importantes que se han ocasionado en el DMQ han sido en los sectores de Zámbriza, Atacazo, Parque Metropolitano, Guápulo, Valle de los Chillos, Monjas, Tababela, Martha Bucaram, Guangopolo, Auqui-Lumbisí, Ungui, el Panecillo y la Marín (Játiva, 2013, pág. 9).

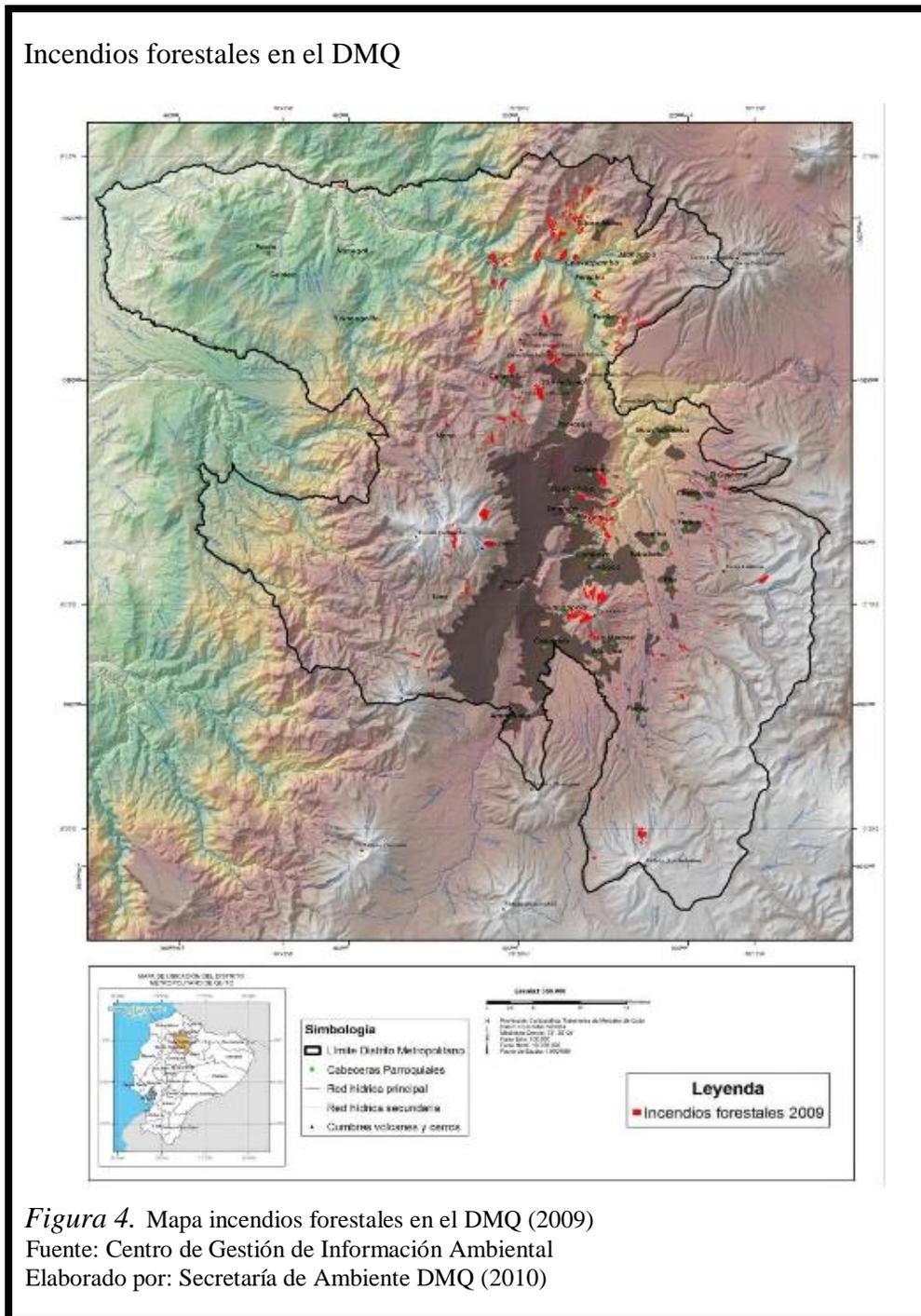


Figura 4. Mapa incendios forestales en el DMQ (2009)

Fuente: Centro de Gestión de Información Ambiental

Elaborado por: Secretaría de Ambiente DMQ (2010)

CAPÍTULO 2

ZONAS DE ESTUDIO

2.1 Generalidades

Se consideró la alta recurrencia de incendios forestales registrados en los últimos años en el Cerro Ungüi, y la importancia en este caso de la zona de estudio ubicado en la Reserva Ecológica Antisana (REA), la cual sostiene el proyecto la Mica Quito Sur manejado por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, que abastece de agua potable al Sur de Quito, y no menos importante, la falta de información sobre la variación de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo, tras el aumento de temperatura originado por un incendio forestal.

2.2 Antisana

El lugar de estudio se ubica dentro del área de influencia de la REA la cual es considerada como páramo según el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), se encuentra entre las provincias de Pichincha y Napo, en la vertiente oriental de la Cordillera Real de Los Andes, administrativamente forma parte de la provincia de Napo e incluye las parroquias de Papallacta, Cuyuja, Baeza, Cosanga (cantón Quijos) y la de Cotundo (Cantón Archidona).

Los páramos son ecosistemas semi-húmedos y fríos que en el Ecuador se encuentran formando un corredor casi intacto sobre la Cordillera de los Andes, a alturas de entre 3.000 y 5.000 metros.

La característica fundamental de los páramos es almacenar y regular el agua que reciben de las precipitaciones y del descongelamiento de la nieve y el hielo que pueden encontrarse más arriba. Esta propiedad se debe fundamentalmente a la acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas del páramo (Herrera, Játiva, Silvia, & Jaramillo, 2010).

Los suelos típicos del páramo son negros y húmedos debido precisamente a la alta humedad y al clima frío. La descomposición de la materia orgánica es muy lenta, lo que hace que se acumule una gruesa capa sobre la superficie. El suelo es retenido por una intrincada red de raíces y rizomas que hacen parte de la red natural continua de los páramos en buen estado (Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP), 2000).

En la zona alta (3.100 – 4.700 msnm), sobresalen las almohadillas (*Azorella aretioides*), las chuquiraguas (*Chuquiraga jussieui*), asociaciones de musgos entre estas especies se encuentran los musgos de la turba (*Sphagnum* sp.) y el llantén de páramo (*Plantago rígida*), siempre entre extensos pajonales o Gramíneas, los cuales están representados por la paja ratón (*Callamagrostis*), carrizo (*Cortadeiras*), frailejón (*Espeletia* sp.), chite (*Hypericum*), vira-vira (*Gnaphalium spp*), chusque (*Chusque* spp), romero de páramo (*Senecio spp*), gaque (*Clusia spp*), y cardo (*Puyas*) (Herrera, Játiva, Silvia, & Jaramillo, 2010, pág. 14).

2.2.1 Ubicación Geográfica

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, 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) (Fundación Antisana, 2002, pág. 21).

2.2.2 Ecología y Zonas de Vida

Los humedales de altura y los bosques de las estribaciones andinas del área poseen un valor ecológico especial. El total de agua para uso doméstico, proveniente de estos humedales, es de 8.000 lts/s. Por otro lado, el bosque es muy valioso desde el punto de vista de la biodiversidad

por contener especies endémicas de flora y fauna (Fundación Antisana, 2002, pág. 14).

La parte alta de la reserva está situada entre los 3.100 msnm y 4.700 msnm, donde se distinguen el Páramo Pluvial Subalpino (volcán Antisana y sus faldas) y el Bosque muy húmedo Montano (Laguna Micacocha, Jatunhuaico y río Antisana). El páramo representa una tercera parte del área total de la reserva (Fundación Antisana, 2002, pág. 14).

La parte baja se encuentra entre los 1.200 y los 3.100 msnm e incluye las dos terceras partes de la reserva. Comprende bosques de alta montaña, (bosque siempre verde montano, bosque de neblina montano y bosque siempre verde montano bajo) muy poco intervenidos y casi inaccesibles (Fundación Antisana, 2002, pág. 14).

2.2.3 Condiciones Agroecológicas

“La Precipitación está en el rango de 800 a 2.700 mm anuales. Así también, la temperatura presenta muchas variaciones en función de la altitud, pero por lo general está en el rango de los 3°C a los 17 °C” (Cueva, 2009, pág. 58).

2.2.4 Geología

La topografía presente en el lugar de estudio es el resultado del choque de las placas de Nazca y Sudamericana lo cual está relacionado con la edificación de la Cordillera de los Andes.

Los principales grupos litológicos, presentan las siguientes características (Fundación Antisana, 2002, págs. 14-15):

- En el extremo noroeste, existe relleno vulcano-sedimentario con una cobertura casi continua de cangahua. En el extremo noreste de la región y al este del río Cosanga, afloran también lavas basálticas, brechas y lahares.

- En los sectores aledaños a las localidades de Sarayacu, La Merced de Jondachi y Pangayacu, afloran rocas sedimentarias cretácicas representadas por calizas, areniscas, arcillas y lutitas, principalmente.
- En la parte norte y central, se hallan expuestas rocas metamórficas Paleozoicas, compuestas de esquistos, filitas, cuarcitas y gneises, principalmente, que constituyen el armazón de la cordillera oriental.

2.2.5 Geomorfología

La topografía y las formas de relieve existentes en la región, obedecen a las diferentes condiciones morfoclimáticas, que varían desde las de tipo nival, glaciario y peri glaciario, hasta el dominio tropical húmedo, que a su vez están relacionados con la influencia de la altitud absoluta de la Cordillera de Los Andes (Fundación Antisana, 2002, pág. 17).

El lugar de estudio está cubierto por proyecciones volcánicas de segunda generación, identificadas geológica y edafológicamente como "cenizas recientes". Estas cenizas están compuestas por lúpilli y cenizas arenosas que, al ser afectadas por agentes atmosféricos, han desarrollado suelos con diferente textura, estructura, retención de humedad, color y contenido de materia orgánica (Fundación Antisana, 2002, pág. 26).

2.2.6 Suelo

Los paisajes o geoformas identificadas en la reserva en la cual se encuentra la zona de estudio, son descritos tomando como base la referencia geográfica o espacial. Las clases identificadas son:

En la Cordillera Oriental de los Andes donde se ubica el área de estudio (Fundación Antisana, 2002, pág. 17):

- Suelos de las estribaciones internas altas y frías, húmedas a muy húmedas (EIA).
- Suelos de la sierra alta muy fría, húmeda a muy húmeda (SAMF).
- Afloramientos rocosos.
- Suelos de las estribaciones exteriores altas, frías, húmedas a muy húmedas (EEA).
- Suelos de las estribaciones exteriores medias, templadas, húmedas a muy húmedas (EEM).
- Suelos de las estribaciones exteriores bajas, templadas y subcálidas, húmedas a muy húmedas (EEB).

En la zona Subandina: levantamiento Napo (Fundación Antisana, 2002, págs. 17-18).

- Suelos de los flancos occidentales altos, templados a subcálidos, húmedos a muy húmedos (FOA).
- Suelos de los flancos occidentales medios, subcálidos, húmedos a muy húmedos (FOM).
- Suelos de los flancos occidentales bajos, cálidos, húmedos a muy húmedos (FOB).

2.3 Ungüi

El cerro Ungüi se encuentra ubicado en un estribo del volcán Ruco Pichincha. Es una zona protegida localizada en la provincia de Pichincha, pertenece al Cantón Quito, dentro de la parroquia urbana de Lloa.

2.3.1 Condiciones Agroecológicas

La precipitación anual media en el sector está entre los 1.500 mm lo que corresponde a una distribución de tipo andino. Este régimen responde a factores de naturaleza orográfica y por la presencia de la Cordillera de los Andes (GAD Parroquia de Lloa, 2012, pág. 29).

La temperatura media es 14° C hasta los 9.5° C a 3.400 msnm, con mínimas entre 0° y 4° C y máximas entre 24° a 26° C. Los vientos son moderados con velocidades medias entre 3 y 4 ms⁻¹ dirección predominante norte.

2.3.2 Suelo

Está constituido por un suelo tipo mollisoles en un 58%, que son suelos oscuros y suaves que se han desarrollado bajo una vegetación herbosa; horizonte superficial rico en humus, que es rico en calcio y en magnesio; inceptisoles en un 41%, suelos jóvenes poco desarrollados, más habituales en los climas húmedos; y, entisoles en un mínimo porcentaje. (GAD Parroquia de Lloa, 2012, pág. 36)

2.3.3 Geología

“Todas las rocas aflorantes son plio-cuaternarias, un 60% del mapa (parte de la ciudad de Quito y Valle de los Chillos que se extiende al este), está cubierto por Cangagua (ceniza). A veces la Geomorfología del terreno pre-Cangagua está preservada” (GAD Parroquia de Lloa, 2012, pág. 36).

2.3.4 Geomorfología

La superficie natural, topografía y laderas de la Parroquia de Lloa son empinadas propias de la zona, están conformadas por colinas de declive que bajan debido a la erosión fluvial. También pertenecen a este paisaje en forma dispersa los bloques de piedra pómez-grava esparcidos por efecto de flujos lahárticos y que se encuentran flotantes en la cumbre del volcán (GAD Parroquia de Lloa, 2012, pág. 36).

2.4 Localización geográfica de las zonas de estudio

Para nuestro estudio se han elegido 2 lugares. El primero Cerro Ungüi ubicado dentro del DMQ con una altitud máxima de 3.584 msnm y el segundo ubicado dentro del área de influencia de la Reserva Ecológica Antisana (REA) que altitudinalmente se encuentra desde los 1.200 msnm hasta los 5.758 msnm que corresponde ya al volcán Antisana del cual toma el nombre la reserva.

En las siguientes figuras se detalla la localización geográfica de las zonas de estudio y el lugar de muestreo en dichas zona teniendo en cuenta que se realizó un muestreo asistemático, no obstante los puntos tomados son representativos de cada una de las áreas de estudio.

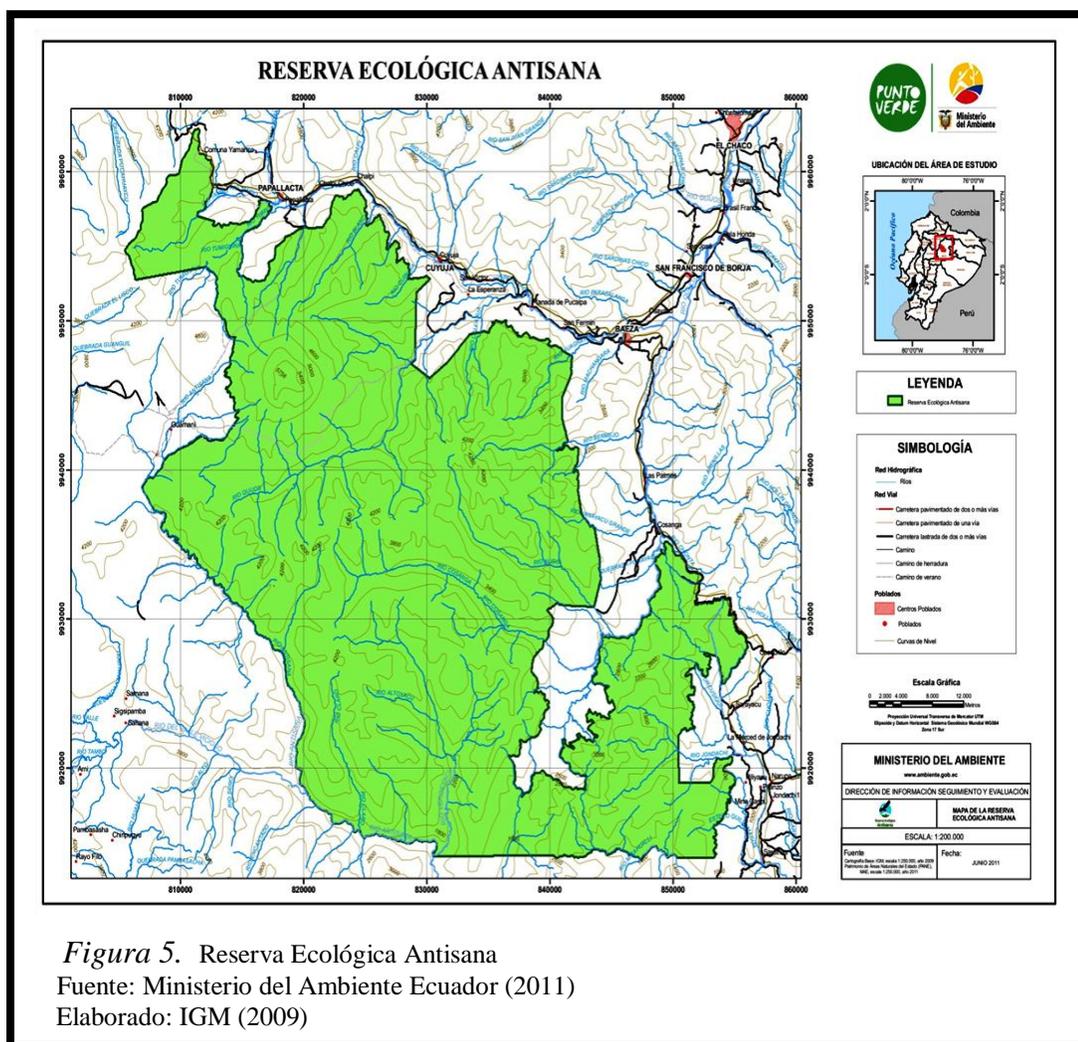


Figura 5. Reserva Ecológica Antisana
Fuente: Ministerio del Ambiente Ecuador (2011)
Elaborado: IGM (2009)

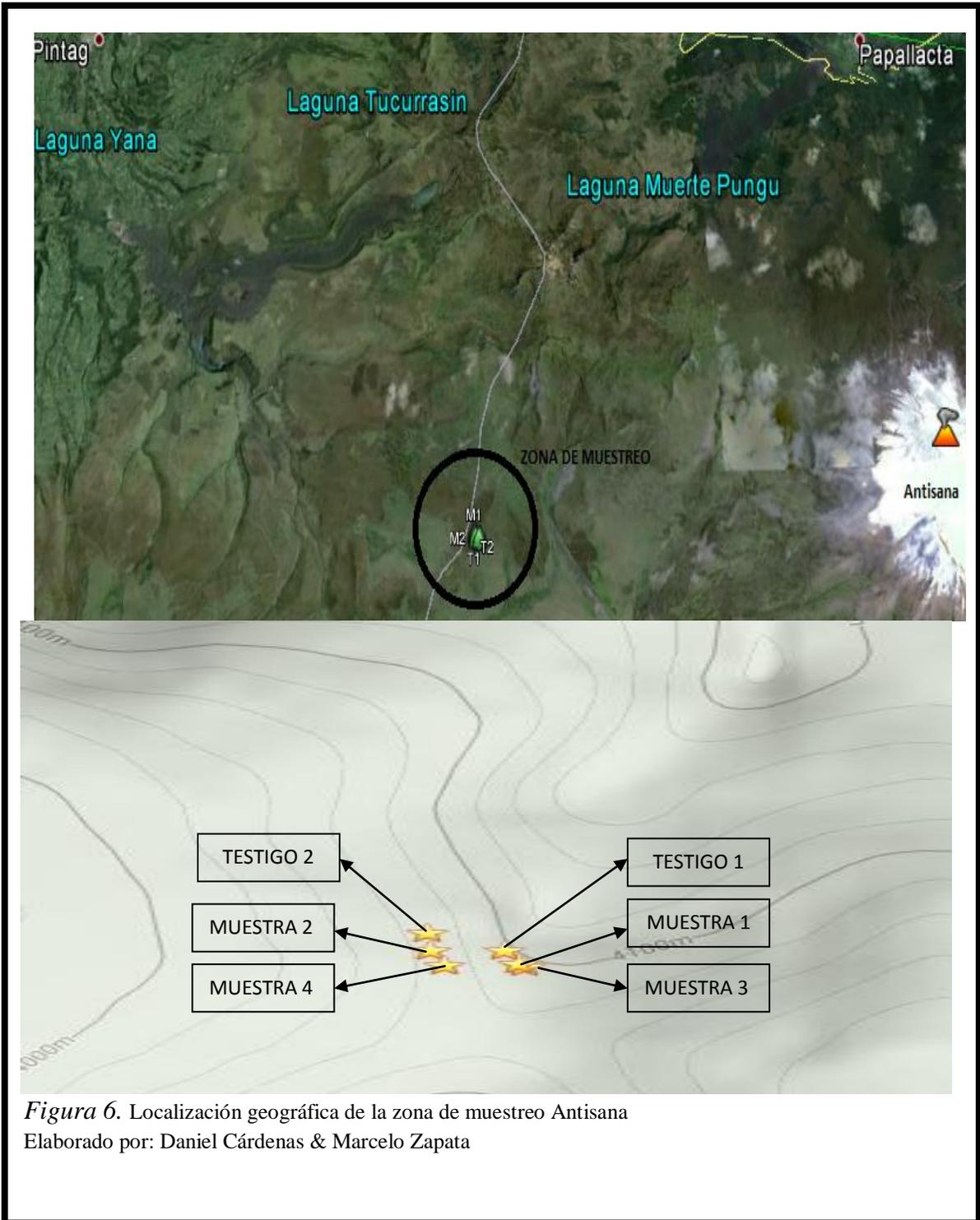


Figura 6. Localización geográfica de la zona de muestreo Antisana
 Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata



Figura 7. Área de la zona de muestreo sector Ungüi
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Método para la toma de muestras

Para la toma de muestras se utilizó el método asistemático que es un muestreo al azar, sin embargo, los puntos fueron representativos del sector.

Se tomaron 12 muestras en los lugares de Ungüi y Antisana, 6 muestras en cada lugar, y para ello se utilizó un cilindro de acero de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Esto se lo hizo para mantener la estructura del suelo inalterado y poder replicar las características del terreno en nuestra simulación.

Se trató de que las muestras no presenten alteraciones hasta realizar el tratamiento térmico, para lo cual se las puso en envases de material refractario. Las muestras fueron identificadas con un número o código de muestra, lugar, fecha y coordenadas.



Las muestras utilizadas como testigos se las identificó con las siglas MT y las muestras a analizar se las asignó la siguiente nomenclatura M1-M2-M3-M4. Para el transporte de las muestras, se utilizó los recipientes de material refractario (macetas de arcilla), esto para evitar que las muestras sufran algún tipo de alteraciones térmicas a más de la causada por el horno.

3.2 Tratamiento Térmico

Los escenarios en los cuales nos basamos para determinar si la simulación del incendio es de media y de alta intensidad, están mencionadas en este trabajo de investigación en el Capítulo I, dentro del Marco Teórico, subtítulo 1.4.1 Temperaturas de un incendio forestal; donde nos indica las consecuencias de los incendios forestales en la vegetación, lo cual es lo más próximo a nuestro contexto.

Según Carballas (2004) también se puede determinar la intensidad del incendio forestal con los rastros que deja el paso del fuego sobre el suelo, que pueden traducirse en cambio de color, presencia de cenizas y el color que éstas muestren además del color de los restos vegetales que se encuentren sobre el suelo.

En nuestra investigación la mejor forma por la cual se determinó si un incendio es de media o alta intensidad, fue mediante los restos vegetales y el color de la ceniza presentes después de la simulación de los mismos.

Acorde a lo mencionado por Carballas (2008) para incendios de intensidad media, existe una combustión parcial de la materia orgánica, desapareciendo la mayoría de los restos vegetales y para incendios de intensidad alta, se tiene la presencia de cenizas blancas en la superficie del suelo, lo que indica una combustión total de los combustibles.

Para este tratamiento se utilizó un horno industrial con medidas internas de 1m de ancho, 1 m de profundidad y 0.70 m de alto, construido para el efecto, en el que se pueda generar llamas y temperaturas altas (hasta 700 °C) cuando el horno permanezca abierto, esto con el fin de representar un escenario lo más aproximado a la realidad.

Trabajos como el de Mataix Solera y Antonio Jordán en el libro Actualización de Métodos y técnicas para el estudio de suelos afectados por incendios forestales (2010) indican un protocolo para simulación de incendios forestales en el que se utiliza muflas, sin embargo, como ellos señalan, todavía esos experimentos están lejos de reproducir condiciones naturales de incendio, pero tienen la ventaja de ser experimentos reproducibles.

(Cancelo, Rial, & Díaz, 2013), en su estudio investigativo llamado Effects of fire on cation content in water: a laboratory simulation study (2013) menciona que con el afán de superar este problema técnico que presenta la simulación de incendios forestales, calentó el suelo de forma abierta utilizando para el efecto lámparas infrarrojas como fuente de calor.

En nuestra experimentación se utilizó una fuente de calor que es producida por tres quemadores en forma de “U” ubicados en la parte superior y en todos los lados de dicho horno, su funcionamiento es a través de gas licuado de petróleo (GLP). Para este choque térmico se utilizó un recipiente de material refractario que en este caso es una maceta de cerámica de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro.

A cada grupo de seis muestras se las dividió en muestras testigos (MT) que fueron mantenidas a temperatura ambiente de laboratorio por el tiempo de 30 días. Las muestras restantes se sometieron a dos tratamientos térmicos de intensidad media (IM) y de intensidad alta (IA), y se identificarán como M1, M2, M3 y M4.

El control de la temperatura se realizó utilizando cuatro termocuplas en cada una de las muestra, de la siguiente manera: una en la superficie, la cual nos indicó la temperatura a la que llegó el incendio en nuestra muestra, a partir de aquí, se colocaron las tres termocuplas restantes a 1, 3 y 5 centímetros de profundidad llevándolas hasta el centro de ésta y se registraron las temperaturas alcanzadas.

El cable de las termocuplas estará recubierto con papel aluminio ya que se encontrará expuesto a fuego y altas temperaturas.



3.3 Determinaciones Analíticas

Se pesaron las muestras al llegar al laboratorio y se realizó los análisis físicos químicos de: pH, conductividad eléctrica, textura, densidad, humedad, repelencia al agua, carbono, materia orgánica y nitrógeno total.

3.3.1 Determinación de pH y conductividad eléctrica

La medida del pH se realizó en una suspensión de suelo en agua desionizada con una relación de 1:2,5 (p/V). En otra suspensión acuosa, relación 1:5 (p/V) se realizó la medida de conductividad.

Para el pH se tomaron 10 gramos de suelo y se lo mezcló en 25 ml de agua destilada y para la conductividad se tomó la misma cantidad de suelo y se lo mezcló en 50 ml de agua destilada, se agita durante aproximadamente unos 5 minutos para poder tener una mezcla homogénea, y evitar lecturas erróneas. Visualizar el anexo 3 literal A.

3.3.2 Determinación de textura

- Se pesaron 50 g de suelo de suelo tamizado por una malla de 2.00 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) dicha relación se tomó del libro de Laboratorios Bioagropecuarios de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en Cayambe.
- 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 doce horas.
- Se colocó agua destilada en el vaso de precipitación y se agita aproximadamente durante 10 minutos, esto en caso de que el suelo sea pesado, y 5 minutos si el suelo es aparentemente arenoso.
- Se pasó 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 el tiempo a los 40 segundo y a las 2 horas de haber colocado el hidrómetro, esto según con la clasificación de las partículas del USDA Visualizar el anexo 3 literales H-J.

En caso de que la temperatura varíe se utiliza los factores de corrección presentados en la imagen #10. 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.

Tabla 1.
Factor de corrección para textura

| Temperatura °C | Factor de Corrección |
|----------------|----------------------|
| 19.44 | 0.00 |
| 20 | + 0.18 |
| 21 | + 0.52 |
| 22 | + 0.86 |
| 23 | + 1.23 |
| 24 | + 1.61 |
| 25 | + 2.03 |
| 26 | + 2.41 |
| 27 | + 2.84 |
| 28 | + 3.28 |
| 29 | + 3.74 |
| 30 | + 4.20 |

Nota.

Fuente: Laboratorios Bioagropecuarios de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Se utilizó las siguientes fórmulas para el cálculo del los porcentajes de arenas, arcillas y limos:

$$\text{Arenas totales \%} = 100 - \frac{\text{lectura corregida a los 40 segundos} * 100}{\text{gramos de muestra utilizados}}$$

$$\text{Arcilla total \%} = \frac{\text{lectura corregida a las 2 horas} * 100}{\text{gramos de muestra utilizados}}$$

$$\text{Limos \%} = 100 - (\text{Arenas \%} + \text{Arcilla \%})$$

Con estos datos se determina la textura utilizando la clasificación de los suelos según USDA.

Tabla 2.
Clasificación de los suelos según su textura

| CLASIFICACIÓN USDA DE LOS SUELOS SEGÚN SU TEXTURA | | | | | |
|---|-----------|----------|-------------|--------------------------|-------------------|
| Textura | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Textura gruesa | 86-100 | 0-14 | 0-10 | Arenoso | Suelos arenosos |
| | 70-86 | 0-30 | 0-15 | Arenoso franco | |
| Textura moderadamente gruesa | 50-70 | 0-50 | 0-20 | Franco arenoso | Suelos francos |
| Textura media | 23-52 | 28-50 | 7-27 | Franco | |
| | 20-50 | 74-88 | 0-27 | Franco limoso | |
| | 0-20 | 88-100 | 0-12 | Limoso | |
| Textura moderadamente fina | 20-45 | 15-52 | 27-40 | Franco arcilloso | |
| | 45-80 | 0-28 | 20-35 | Franco arenoso arcilloso | |
| | 0-20 | 40-73 | 27-40 | Franco limoso arcilloso | |
| Textura fina | 45-65 | 0-20 | 35-55 | Arcilloso arenoso | Suelos arcillosos |
| | 0-20 | 40-60 | 40-60 | Arcilloso limoso | |
| | 0-45 | 0-40 | 40-100 | Arcilloso | |

Nota. Clasificación de la USDA.

Fuente: U.S. Departamento de Agricultura

Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

3.3.3 Determinación de la densidad

La determinación de la densidad se la realizó por el método del picnómetro, añadiendo 50 g de suelo seco en un picnómetro. En forma separada se determinó la humedad del suelo a 105°C introduciendo el matraz a una cámara o desecador para vacío por varios minutos, agitando con cuidado para evitar pérdida de suelo por burbujeo intenso.

Para calcular la densidad de las partículas utilice la siguiente expresión:

$$\rho_P \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} = \rho_w (W_s - W_a) / [(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)]$$

donde:

ρ_w = Densidad del agua en gramos por centímetro cúbico a la temperatura observada.

W_s = Peso del picnómetro con la muestra corregida a 105° C.

W_a = Peso del picnómetro con aire.

W_{sw} = Peso del picnómetro llenado con suelo y agua.

W_w = Peso del picnómetro llenado con agua a la temperatura observada.

3.3.4 Determinación de la humedad

Para determinar la humedad existente en el suelo se usó el método Gravimétrico.

- Se tomó el peso de la muestra antes de entrar al horno para la simulación del incendio y después de salir de este, con esto se determinó la cantidad de humedad perdida por el incendio.
- Una vez realizado este procedimiento se tomó una muestra de suelo quemado al cual se lo pesó y se volvió a secar a 105 °C durante 24 horas. Se pesó la muestra después del tiempo determinado.
- Con éstas medidas se determina el contenido de humedad en base al peso.

Un suelo puede presentar en un momento dado, un contenido de humedad con base en peso (W) mayor al 100%, un ejemplo de esto es presentado por aquellos suelos que poseen altos contenidos de materia orgánica, así como densidades aparentes menores a 1.0 gr/cm³, capaces de tomar más agua que la que pueden pesar cuando están secos.

Para los cálculos utilizaremos:

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\text{Peso del suelo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} * 100$$

3.3.5 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):

El método WDTP se deja caer gotas de agua sobre el suelo suavizado y tamizado a 1mm, 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 y, por lo tanto, indica la intensidad de la repelencia al agua del suelo.

Para este método se prepararon soluciones con distintas concentraciones de etanol (3%, 5%, 8,5%, 13%, 24%, 36%), y se procedió a colocar gotas de esta solución sobre la muestra de suelo suavizada y tamizada como se indica en el procedimiento anterior tomando la concentración específica a la que la gota de solución etanólica es absorbida por el suelo en un tiempo determinado.

El método WDPT se expresa en segundos y el Método TPE se expresa en concentración de etanol que es absorbida por la muestra.

Procedimiento:

- Se tamizó la muestra con una malla de 1 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 (3%, 5%, 8,5%, 13%, 24%, 36%).
- Se procedió a realizar nuevamente la toma de tiempo primero con el porcentaje más bajo 3% si las gotas sobrepasaban los 10 segundo de penetración se pasaba a la siguiente concentración, hasta obtener un tiempo menor a los 10 segundos.

3.3.6 Determinación de Materia orgánica y Carbono.

- Se pesó 0.5 gramos de suelo posteriormente se preparó una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N (49.04 gramos aforar a 1 litro). Se puede hacer la relación para el número de muestras que se tenga.

- Se colocó 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ y 10 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado en la muestras y se dejó reposar la muestra durante doce horas. Se colocó 5 ml de Ácido Fosfórico (H_3PO_4) al 56% en la muestra y se aforó a 100ml, posteriormente se agita.
- Se preparó Ioduro de potasio (KI) al 20%. Se puede realizar la relación para el número de muestras que se tenga.
- Se preparó una solución de almidón donde se tomó 5 gramos de este y se aforó en 1 litro de agua destilada, dicha relación se tomó del libro de Laboratorios Bioagropecuarios de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en Cayambe.
- Se preparó la solución titulante Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) (25 gramos se aforan en 1 litro de agua destilada), dicha relación se tomó del libro de Laboratorios Bioagropecuarios de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en Cayambe.
- Se tomó una alícuota de 10 ml de cada muestra anteriormente preparada, las cuales se las trasvasó a recipientes limpios.
- Se añadió 1 ml de almidón y 2 ml de KI (preparados) y aforamos aproximadamente hasta a 200 ml. La adición de agua destilada es para poder apreciar el cambio de color en las muestras que se titularon.
- Se tituló con la solución anteriormente preparada $Na_2S_2O_3$ hasta notar el cambio de color, a azul claro (ver el anexo 3 Carbono orgánico literal G). Se anotó lo que se gastó del titulante y se procedió a realizar los cálculos.

Para la determinación de los niveles de cada uno de los parámetros procedemos a calcular lo siguiente:

- **% Carbono:** el valor titulado se resta de los 10 ml (son los 10 ml que tomamos de la muestra) el resultado se lo multiplica por la constante 0.78 ejemplo:

$$10\text{ml} - 5.7\text{ml} = 4.3\text{ml}$$

$$4.3 * 0.78 = 3.354 \text{ %Carbono}$$

- **% Materia Orgánica:** el % de carbono se multiplica por la constante 1.72972 ejemplo:

$$3.354 * 1.72972 = 5.80 \text{ %Materia Orgánica}$$

Las constantes utilizadas corresponden a fracciones con las cuales se puede llegar a determinar los porcentajes de carbono orgánico total, materia orgánica y nitrógeno total, el método que se utilizo es el llamado Método de Walkley y Black, el cual fue proporcionado por los Laboratorios Bioagropecuarios de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en Cayambe.

3.3.7 Determinación de Nitrógeno Kjeldahl

Se utilizó el método Kjeldahl para determinar el nitrógeno orgánico y el que se presenta en la fracción mineral como ión amonio conjuntamente. Este método se basa en una digestión, por vía húmeda en medio sulfúrico, de la muestra, para mineralizar el nitrógeno orgánico a ión amonio. Posteriormente se realiza la destilación del ión en medio alcalino, valorándose a continuación con ácido clorhídrico de normalidad conocida

3.4 Tratamiento estadístico

Se basó en el análisis de la varianza (ANOVA) para observar si cada una de las propiedades físico-químicas estudiadas (variables dependientes) son afectadas por el factor considerado, en este caso, el tratamiento térmico, el cual se lo aplicó a cada una de las muestras (4 muestras testigo a temperatura ambiente sin quemar (SQ), 4 muestras

sometidas a intensidad media (IM) y 4 muestras sometidas a intensidad alta (IA)) y la profundidad (1, 3 y 5 cm)

Los datos obtenidos de los tratamientos térmicos, se registraron en una tabla llamada Relación Tiempo – Temperatura, donde constan las diferentes temperaturas alcanzadas a las distintas profundidades en cada una de las muestras.

Tabla 3.
Relación temperatura – tiempo

| Muestra# | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Coordenadas | | | |
| Fecha de Tratamiento | | | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T.3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| | | | | | |

Nota. T, temperaturas registradas a los diferentes tiempos; Coordenadas, a las que fue tomada la muestra.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Las muestras pertenecientes a la zona de Ungüi que fueron sometidas a los diferentes tratamientos térmicos de intensidad media y alta son: M1, M2 y M3, M4 respectivamente y las muestras pertenecientes a la zona de Antisana sometidas a los mismos tratamientos térmicos fueron: M1, M4 y M2, M3 respectivamente.

Los datos obtenidos de los análisis de cada uno de los parámetros estudiados se los registró en una tabla llamada Resultado de Análisis, donde constan los resultados de cada una de las muestras y sus repeticiones sometidas a los diferentes tratamientos térmicos mencionados.

Tabla 4.
Resultado análisis

| Parámetro analizado | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | |
| | | 1 cm | 3 cm | 5 cm |
| MT1 | SQ | | | |
| MT2 | | | | |
| M# | IM | | | |
| M# | | | | |
| M# | IA | | | |
| M# | | | | |

Nota. SQ= Sin quemar, IM= Intensidad Media, IA= Intensidad Alta.
 Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Para el desarrollo del análisis de la varianza ANOVA se utilizó un diseño experimental DCA donde, el tratamiento térmico y la profundidad fueron los factores que determinaron el cambio o no en las propiedades físico-químicas de las muestras, es decir, fueron las variables independientes, mientras que los parámetros analizados fueron las variables dependientes, es decir, obedecen al tratamiento térmico a las que fueron sometidas y las profundidades a las que fueron analizadas.

Para ello los resultados se presentaran en una tabla llamada Resultados de Análisis ANOVA

Tabla 5.
Resultado análisis ANOVA

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|----|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | | | NS/S |
| Profundidad | | | NS/S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | | | NS/S |
| CV | | | |

Nota. F.V.= Fuentes de variación, CM=cuadrados medios, p-valor=probabilidad, NS= no significativo, S= significativo, CV= coeficiente de variación.
 Fuente: La investigación.
 Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En el análisis del ANOVA para el diseño experimental escogido DCA, las fuentes de variación para los parámetros que fueron sometidos a los análisis físico-químicos fueron: el tratamiento térmico, la profundidad y la relación existente entre el tratamiento térmico y la profundidad (tratamiento térmico*profundidad).

Nota: El análisis de la varianza mediante el método ANOVA, indica que si existe un valor menor a 0,05 en “p-valor” en cada una de las fuentes de variación analizadas para el respectivo parámetro estudiado, estas fuentes serán las variables que determinen el cambio en el valor del parámetro.

Tabla 6.
Resultado Análisis prueba de Tukey

| Fuente de variación significativa | Medias | N | Error Experimental/ Grupo Tukey |
|-----------------------------------|--------|---|---------------------------------|
| | | | |

Nota. N= número de veces de la medición.
Fuente: Programa InfoStat.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Nota: La prueba Tukey se la realiza con aquellas fuentes de variación que presentaron valores menores a 0,05 obtenidas en el análisis ANOVA, para ello efectúa un análisis de las medias de los datos obtenidos del parámetro estudiado y el resultado lo representa con letras, donde indica que si existe un cambio de estas la diferencia existente es significativa (medias con una letra común no son significativamente diferentes “ $p \leq 0,05$ ”).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variación de la temperatura con relación al tiempo en la simulación de incendios de media y de alta intensidad

Para determinar la intensidad de cada uno de los tratamientos térmicos, se tomó como referencia la investigación realizada por Carballas (2008), donde menciona que en los incendios de intensidad media se produce una combustión parcial de la materia orgánica, desapareciendo la mayoría de los restos vegetales y en los incendios de alta intensidad aparecen cenizas blancas en la superficie del suelo, lo que indica una combustión total de los materiales combustibles presentes en el lugar.

En base a lo anteriormente mencionado, se tuvo la precaución necesaria para observar el estado en que la vegetación queda después de ser expuesta al calor de las llamas del horno industrial, tal como se puede visualizar en el anexo 1 y 2 de la presente investigación.

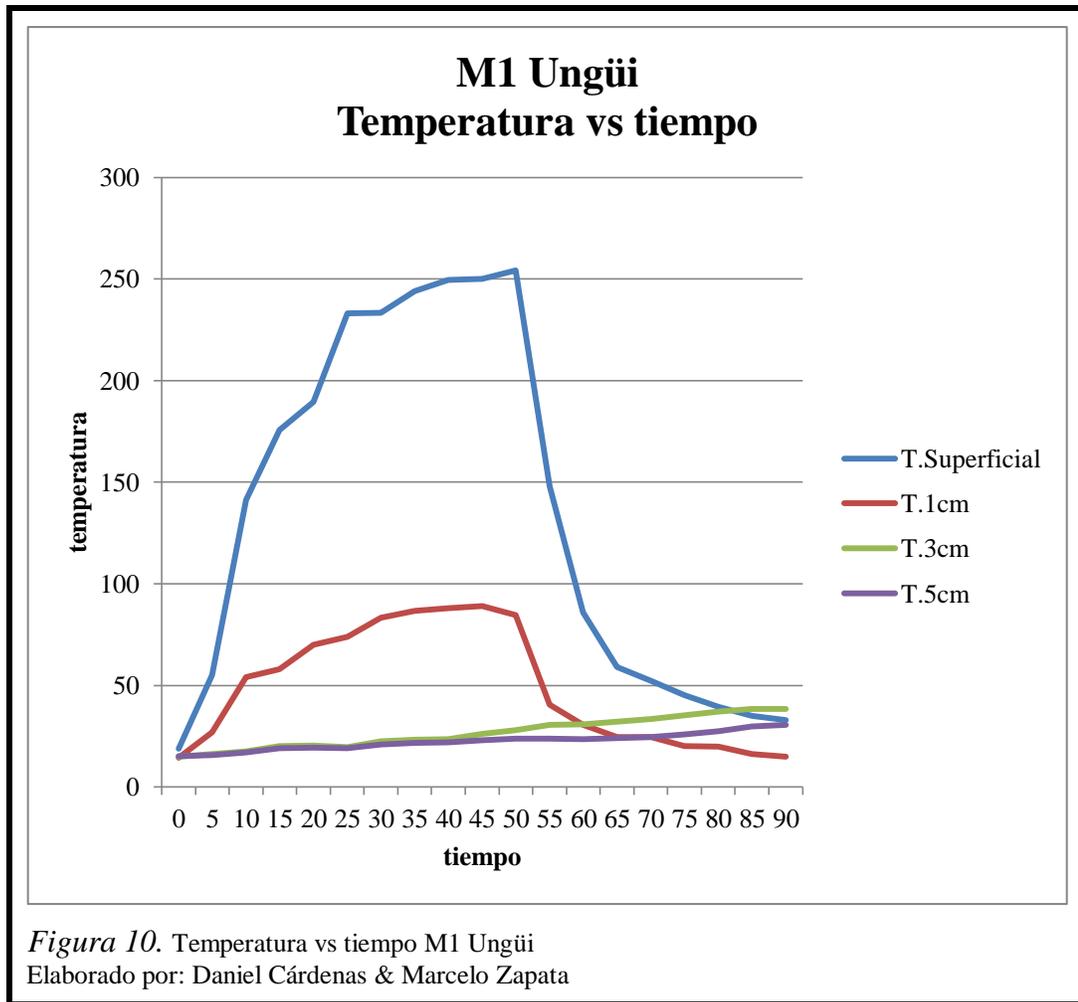
4.1.1 Muestras de Ungüi

En la muestra 1 simulando un incendio de intensidad media se obtuvo que la temperatura máxima superficial se alcanzó en 50 minutos teniendo 254,5 °C, y a 1 cm 84,5°C, mientras que para 3 y 5 cm la temperatura a los 90 minutos tiempo en el cual se terminó la simulación era de 38,4 y 30,5°C respectivamente.

Tabla 7.
Relación temperatura vs tiempo Muestra 1 Ungüi (IM).

| Muestra 1 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Media | Coordenadas | 0772539 | 9972937 |
| Fecha de Tratamiento | | 24/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T.3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 18:45 | 0 | 18,8 | 14,4 | 15 | 15,2 |
| 18:50 | 5 | 63,6 | 27 | 16,3 | 15,8 |
| 18:55 | 10 | 141,1 | 54,1 | 17,4 | 17 |
| 19:00 | 15 | 175,6 | 58,1 | 20,2 | 19 |
| 19:05 | 20 | 189,5 | 70 | 20,5 | 19,3 |
| 19:10 | 25 | 233,1 | 74 | 19,6 | 19 |
| 19:15 | 30 | 233,3 | 83,3 | 22,5 | 21 |
| 19:20 | 35 | 244 | 86,6 | 23,3 | 21,7 |
| 19:25 | 40 | 249,5 | 88 | 23,6 | 21,9 |
| 19:30 | 45 | 250 | 88,9 | 26,1 | 22,9 |
| 19:35 | 50 | 254,1 | 84,5 | 27,9 | 23,9 |
| 19:40 | 55 | 148,1 | 40,5 | 30,6 | 23,9 |
| 19:45 | 60 | 85,9 | 30,6 | 30,9 | 23,5 |
| 19:50 | 65 | 59,1 | 24,7 | 32,2 | 24 |
| 19:55 | 70 | 52,2 | 24,5 | 33,5 | 24,5 |
| 20:00 | 75 | 45,1 | 20,2 | 35,2 | 25,9 |
| 20:05 | 80 | 39,5 | 20 | 37,2 | 27,5 |
| 20:10 | 85 | 34,9 | 16,1 | 38,4 | 29,8 |
| 20:15 | 90 | 33 | 15 | 38,4 | 30,5 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

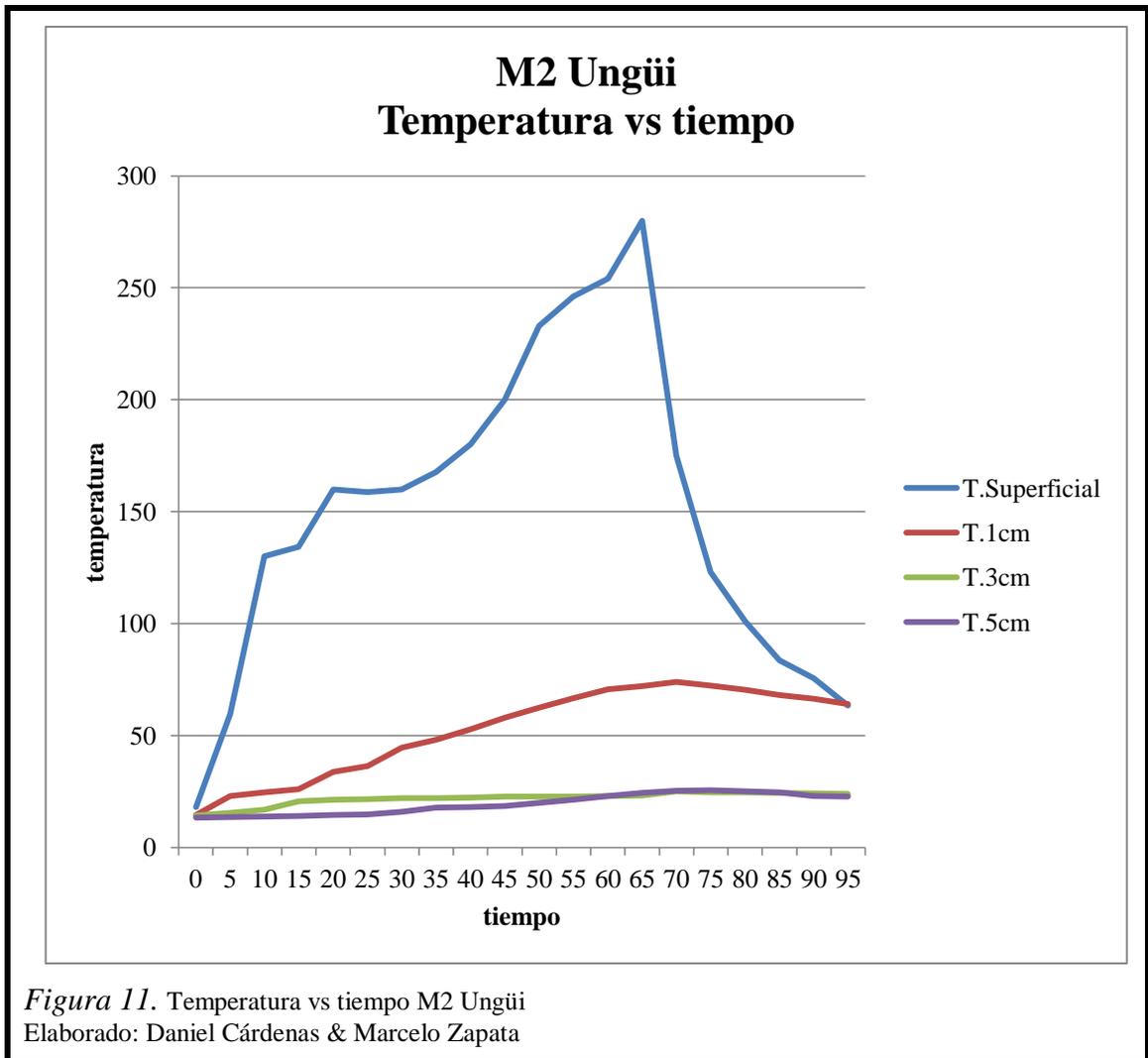


En la muestra 2 simulando un incendio de media intensidad se obtuvo que la temperatura máxima superficial se alcanzó a los 65 min siendo 280°C mientras que a 1,3 y 5 cm la temperatura máxima se obtuvo a los 70 min y fue 74, 25 y 25,5 °C respectivamente.

Tabla 8.
Relación temperatura vs tiempo Muestra 2 Ungüii (IM).

| Muestra 2 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Media | Coordenadas | 0772497 | 9972935 |
| Fecha de Tratamiento | | 24/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T.3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 14:20 | 0 | 18 | 14,4 | 14,3 | 13,3 |
| 14:25 | 5 | 59,5 | 23 | 15,4 | 13,5 |
| 14:30 | 10 | 130 | 24,6 | 16,9 | 13,8 |
| 14:35 | 15 | 134,3 | 26 | 20,7 | 14 |
| 14:40 | 20 | 160 | 33,8 | 21,2 | 14,5 |
| 14:45 | 25 | 158,7 | 36,4 | 21,5 | 14,8 |
| 14:50 | 30 | 160 | 44,5 | 22 | 16 |
| 14:55 | 35 | 167,6 | 48,1 | 22,1 | 17,8 |
| 15:00 | 40 | 180 | 52,7 | 22,3 | 18 |
| 15:05 | 45 | 200 | 58 | 22,7 | 18,5 |
| 15:10 | 50 | 232,9 | 62,3 | 22,6 | 20 |
| 15:15 | 55 | 246,1 | 66,6 | 22,7 | 21,2 |
| 15:20 | 60 | 254 | 70,7 | 22,9 | 23 |
| 15:25 | 65 | 280 | 72,1 | 23,2 | 24,4 |
| 15:30 | 70 | 175 | 74 | 25 | 25,5 |
| 15:35 | 75 | 123 | 72,2 | 24,7 | 25,2 |
| 15:40 | 80 | 101 | 70,3 | 24,5 | 25 |
| 15:45 | 85 | 83,6 | 68,1 | 24,3 | 24,5 |
| 15:50 | 90 | 75,6 | 66,3 | 24,1 | 23 |
| 15:55 | 95 | 63,4 | 64 | 24 | 22,7 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

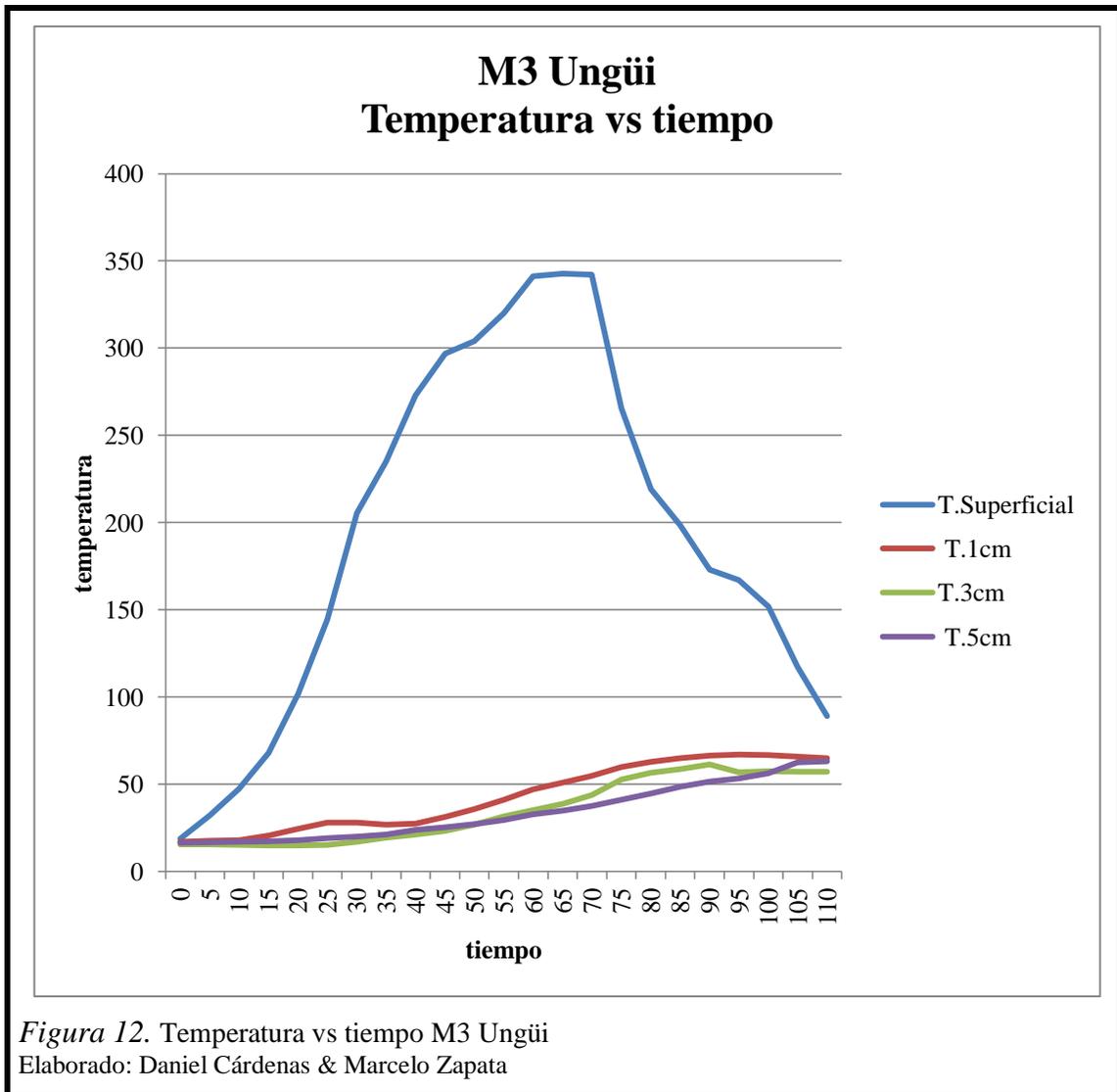


En la muestra 3 simulando un incendio de alta intensidad se obtuvo la temperatura máxima superficial a los 65 min y fue de 342,7°C. A 1cm de profundidad a los 95 min se obtuvo 67,1°C; a 3 cm en un tiempo de 90 min se obtuvo 61,4°C, mientras que a los 5 cm en un tiempo de 110 min la temperatura fue de 63,2°C.

Tabla 9.
Relación temperatura vs tiempo M3 Ungüi (IA).

| Muestra 3 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Alta | Coordenadas | 0772553 | 9972977 |
| Fecha de Tratamiento | | 24/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T.3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 12:15 | 0 | 18,7 | 17 | 15,7 | 16,4 |
| 12:20 | 5 | 32,1 | 17,7 | 15,7 | 16,7 |
| 12:25 | 10 | 47,4 | 18 | 15,2 | 17,1 |
| 12:30 | 15 | 68 | 20,5 | 15,1 | 17,3 |
| 12:35 | 20 | 102 | 24,6 | 15,1 | 17,9 |
| 12:40 | 25 | 144,6 | 28,1 | 15,2 | 19 |
| 12:45 | 30 | 205,6 | 28,2 | 17,1 | 20,1 |
| 12:50 | 35 | 235 | 27 | 19,5 | 21,2 |
| 12:55 | 40 | 273 | 27,5 | 21,1 | 23,8 |
| 13:00 | 45 | 297 | 31,2 | 23,4 | 25,4 |
| 13:05 | 50 | 304 | 35,8 | 27 | 27,2 |
| 13:10 | 55 | 320 | 41,3 | 31,7 | 29,5 |
| 13:15 | 60 | 341,1 | 47,2 | 35,2 | 32,7 |
| 13:20 | 65 | 342,7 | 51 | 38,9 | 35 |
| 13:25 | 70 | 342,2 | 54,9 | 43,9 | 37,6 |
| 13:30 | 75 | 265,5 | 59,9 | 52,9 | 41,3 |
| 13:35 | 80 | 219,2 | 62,8 | 56,5 | 44,6 |
| 13:40 | 85 | 198,5 | 65 | 58,6 | 48,7 |
| 13:45 | 90 | 173 | 66,5 | 61,4 | 51,6 |
| 13:50 | 95 | 167 | 67,1 | 57 | 53,5 |
| 13:55 | 100 | 151,9 | 66,9 | 57,6 | 56,3 |
| 14:00 | 105 | 117,5 | 66 | 57,3 | 62,7 |
| 14:05 | 110 | 89,2 | 64,9 | 57,3 | 63,2 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

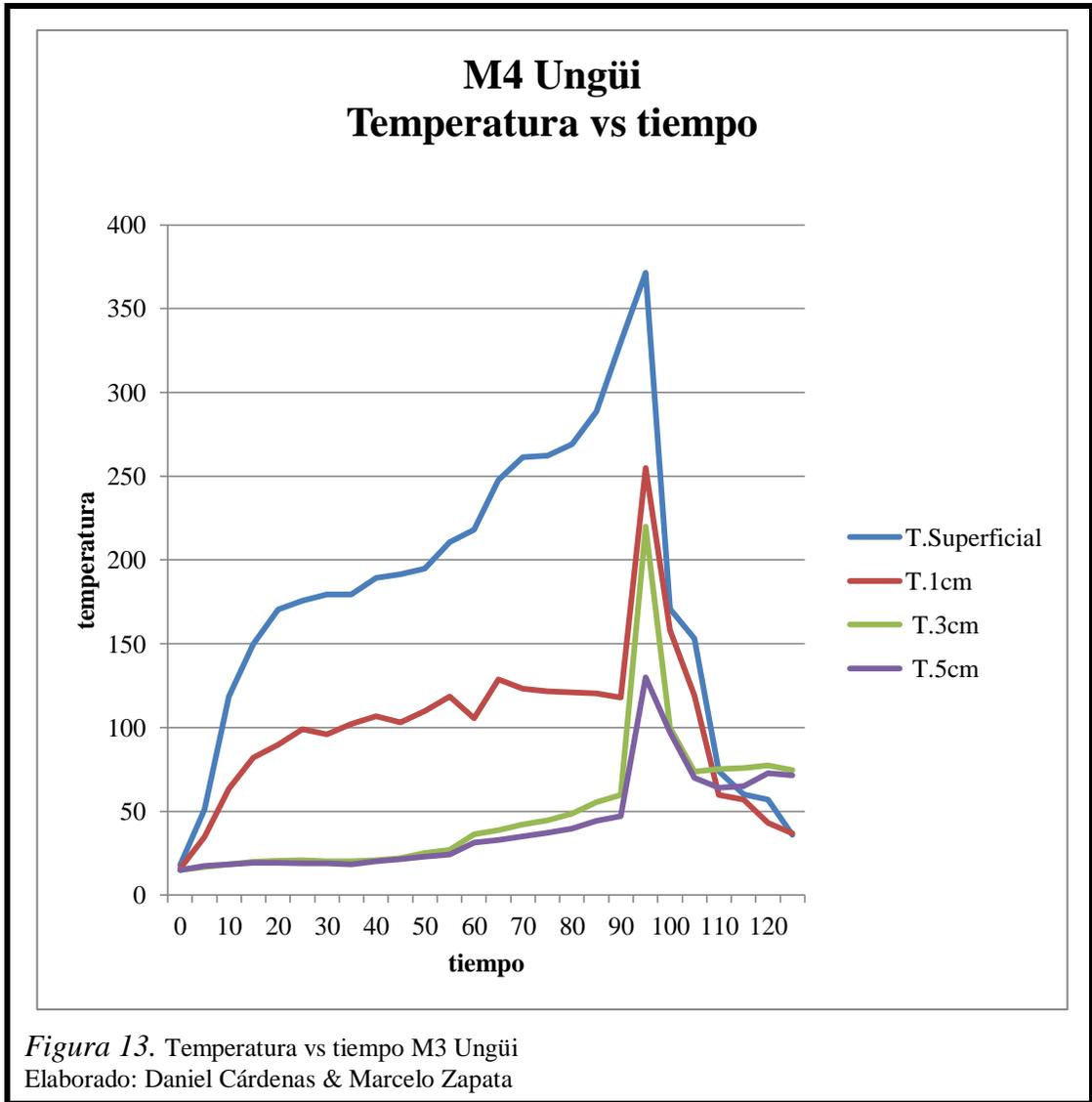


En la muestra 4 sometida a simulación de alta intensidad se obtuvo que la temperatura máxima superficial a los 95 min fue de 371,4°C. En un tiempo de 100 min a 1 cm se obtuvo 154,2°C, a 3 cm 100°C y a 5cm 97,2°C.

Tabla 10.
Relación temperatura vs tiempo M4 Ungüi (IA).

| Muestra 4 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Alta | Coordenadas | 0772502 | 9972993 |
| Fecha de Tratamiento | | 24/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup (°C) | T. 1cm (°C) | T. 3cm (°C) | T. 5cm (°C) |
| 9:35 | 0 | 18 | 16 | 15 | 15 |
| 9:40 | 5 | 51 | 34,7 | 16,9 | 17,3 |
| 9:45 | 10 | 118,5 | 63,6 | 18,5 | 18,5 |
| 9:50 | 15 | 149,8 | 81,9 | 20 | 19,2 |
| 9:55 | 20 | 170,5 | 89,7 | 20,4 | 19,4 |
| 10:00 | 25 | 175,7 | 99 | 20,7 | 19 |
| 10:05 | 30 | 179,3 | 96,1 | 20,3 | 18,9 |
| 10:10 | 35 | 179,5 | 102 | 20,2 | 18,4 |
| 10:15 | 40 | 189,2 | 106,7 | 20,9 | 20,2 |
| 10:20 | 45 | 191,6 | 103,1 | 22,2 | 21,5 |
| 10:25 | 50 | 195 | 110 | 25,2 | 22,9 |
| 10:30 | 55 | 210,5 | 118,6 | 26,9 | 24,2 |
| 10:35 | 60 | 218 | 105,6 | 36,4 | 31,5 |
| 10:40 | 65 | 247,8 | 128,6 | 38,8 | 32,8 |
| 10:45 | 70 | 261,4 | 123,2 | 42,2 | 35,1 |
| 10:50 | 75 | 262,2 | 121,5 | 44,8 | 37,1 |
| 10:55 | 80 | 269 | 121 | 48,7 | 39,6 |
| 11:00 | 85 | 288,5 | 120,5 | 55,5 | 44,4 |
| 11:05 | 90 | 330 | 118 | 59,9 | 47 |
| 11:10 | 95 | 371,4 | 255 | 65,3 | 50 |
| 11:15 | 100 | 170,8 | 158,2 | 100 | 97,2 |
| 11:20 | 105 | 153 | 119 | 73,8 | 69,9 |
| 11:25 | 110 | 74,1 | 59,8 | 75,3 | 64 |
| 11:30 | 115 | 60,1 | 57 | 76 | 65,2 |
| 11:35 | 120 | 57 | 43,1 | 77,5 | 72,8 |
| 11:40 | 125 | 36 | 36,8 | 74,5 | 71,5 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.



En general, en todas las muestras sometidas a calentamiento de media y alta intensidad, las temperaturas mínimas y máximas que alcanza un incendio de intensidad media en la zona de Ungüi se encuentra en el rango de 245°C hasta los 290°C, siendo 57,5 minutos el tiempo promedio en el que alcanza las temperaturas máximas, y los incendios de intensidad alta inician a partir de los 300°C en adelante con un tiempo promedio de 80 minutos.

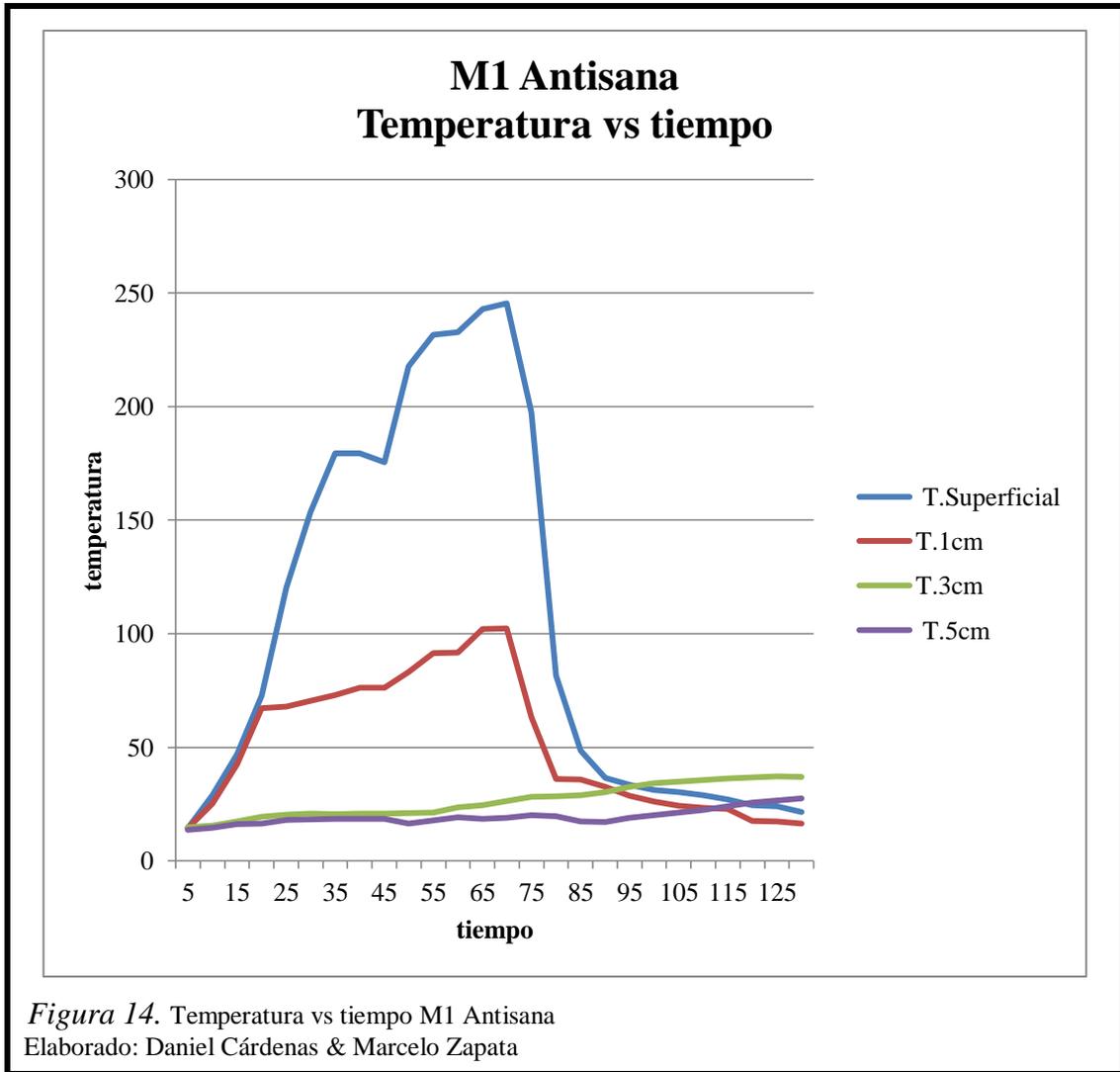
4.1.2 Muestras de Antisana

En la muestra 1 simulación media, se obtuvo que a los 65 minutos las temperaturas alcanzadas en la superficie y a 1cm fueron de 245,5°C y 102,3 °C respectivamente, a 3cm en un tiempo de 120 min fue de 37,1°C y a 5 cm en un tiempo de 125 min fue 27,6°C

Tabla 11.
Relación temperatura vs tiempo MI Antisana (IM).

| Muestra 1 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Media | Coordenadas | 0805594 | 9945091 |
| Fecha de Tratamiento | | 23/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T. 3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 16:05 | 0 | 14,4 | 14,3 | 14,9 | 13,6 |
| 16:10 | 5 | 29 | 25,3 | 15,5 | 14,5 |
| 16:15 | 10 | 47 | 42,6 | 17,4 | 16,1 |
| 16:20 | 15 | 72,8 | 67,3 | 19,4 | 16,4 |
| 16:25 | 20 | 120,4 | 67,9 | 20,4 | 18 |
| 16:30 | 25 | 153,6 | 70,5 | 20,7 | 18,3 |
| 16:35 | 30 | 179,3 | 73 | 20,5 | 18,4 |
| 16:40 | 35 | 179,5 | 76,1 | 20,8 | 18,5 |
| 16:45 | 40 | 175,5 | 76,3 | 20,9 | 18,6 |
| 16:50 | 45 | 217,6 | 83,2 | 21 | 16,5 |
| 16:55 | 50 | 231,5 | 91,5 | 21,2 | 17,7 |
| 17:00 | 55 | 232,7 | 91,6 | 23,6 | 19,1 |
| 17:05 | 60 | 242,8 | 102 | 24,4 | 18,6 |
| 17:10 | 65 | 245,5 | 102,3 | 26,4 | 19 |
| 17:15 | 70 | 197,3 | 63,4 | 28,3 | 20,2 |
| 17:20 | 75 | 81,6 | 36 | 28,4 | 19,6 |
| 17:25 | 80 | 48,4 | 35,8 | 28,9 | 17,3 |
| 17:30 | 85 | 36,4 | 32,6 | 30,2 | 17,2 |
| 17:35 | 90 | 33,6 | 28,6 | 32,6 | 19 |
| 17:40 | 95 | 31,1 | 26,2 | 34,1 | 20,1 |
| 17:45 | 100 | 30,2 | 24,2 | 34,9 | 21,2 |
| 17:50 | 105 | 29 | 23,3 | 35,6 | 22,5 |
| 17:55 | 110 | 27 | 23 | 36,3 | 24 |
| 18:00 | 115 | 24,5 | 17,6 | 36,8 | 25,6 |
| 18:05 | 120 | 24 | 17,3 | 37,1 | 26,5 |
| 18:10 | 125 | 21,4 | 16,5 | 36,9 | 27,6 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

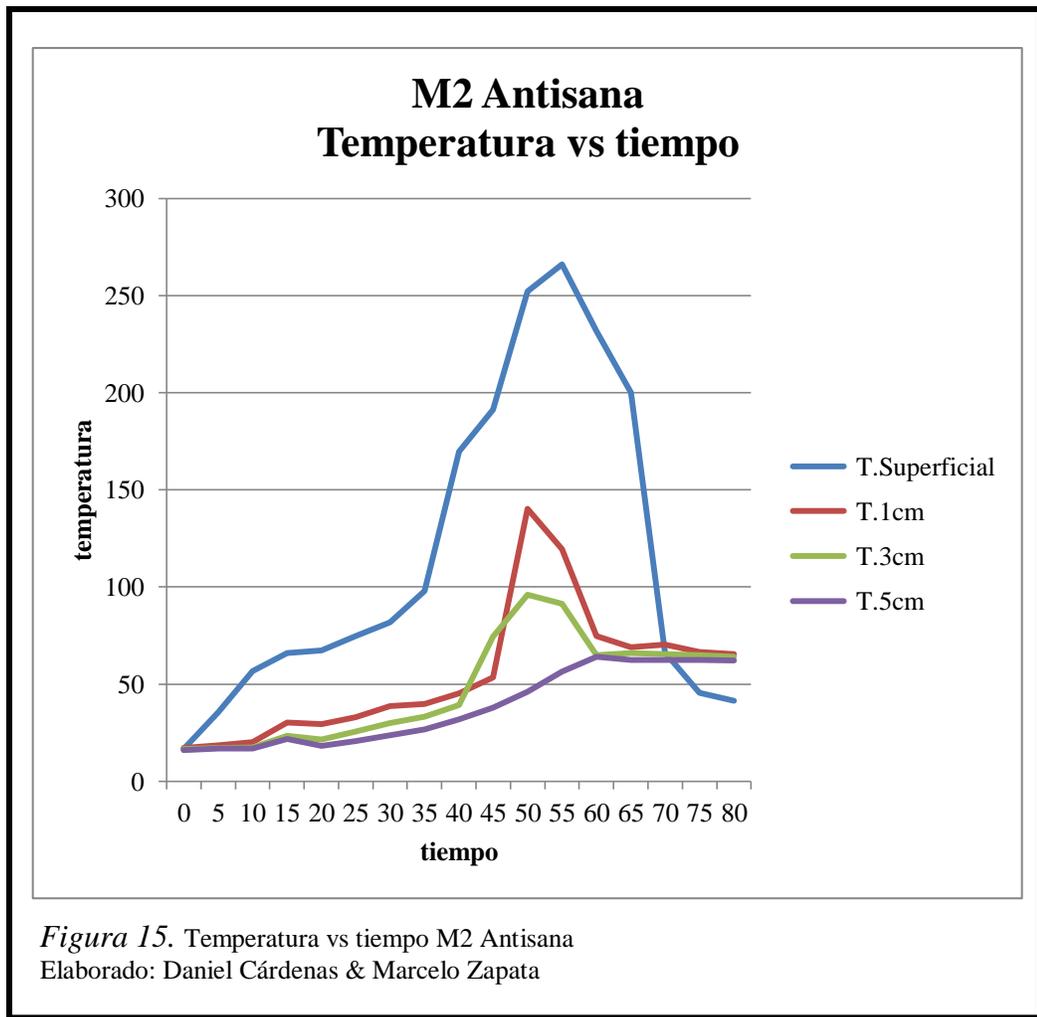


En la muestra 2 sometida a un incendio de alta intensidad, se obtuvo a los 55 min 266°C en la superficie, a 1 cm y 3 cm en un tiempo de 50 min se alcanzó temperaturas de 140,2°C y 95,9°C respectivamente, mientras que a los 5 cm en un tiempo de 60 min la temperatura alcanzada fue 64°C.

Tabla 12.
Relación temperatura vs tiempo M2 Antisana (IA).

| Muestra 2 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Alta | Coordenadas | 0805494 | 9945043 |
| Fecha de Tratamiento | | 23/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T. 3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 14:25 | 0 | 16,6 | 17,1 | 16,6 | 16,1 |
| 14:30 | 5 | 35,4 | 18,4 | 17,1 | 17 |
| 14:35 | 10 | 56,7 | 20,2 | 17,5 | 16,8 |
| 14:40 | 15 | 66,1 | 30,3 | 23,5 | 21,8 |
| 14:45 | 20 | 67,3 | 29,4 | 21,4 | 18,3 |
| 14:50 | 25 | 74,8 | 32,9 | 25,7 | 20,7 |
| 14:55 | 30 | 81,8 | 38,6 | 30 | 23,7 |
| 15:00 | 35 | 98 | 39,8 | 33,2 | 26,6 |
| 15:05 | 40 | 169,7 | 45,2 | 39,2 | 31,9 |
| 15:10 | 45 | 191,2 | 53,5 | 74,5 | 37,9 |
| 15:15 | 50 | 252,2 | 140,2 | 95,9 | 46 |
| 15:20 | 55 | 266 | 119,4 | 91,4 | 56,4 |
| 15:25 | 60 | 231,7 | 74,7 | 65 | 64 |
| 15:30 | 65 | 200,1 | 69 | 66 | 62,6 |
| 15:35 | 70 | 66,2 | 70,3 | 65,4 | 62,5 |
| 15:40 | 75 | 45,6 | 66,6 | 64,9 | 62,4 |
| 15:45 | 80 | 41,5 | 65,4 | 64 | 62,2 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

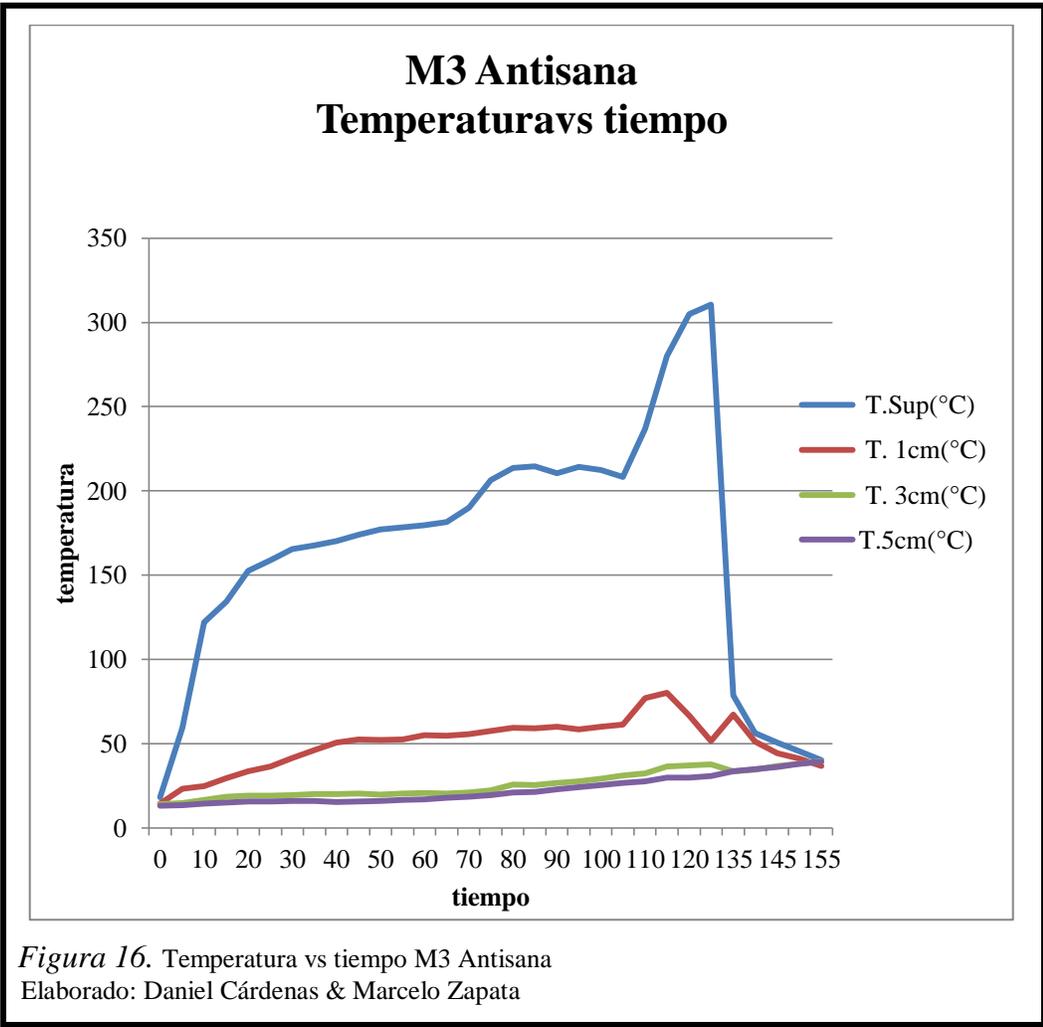


En la muestra 3 sometida a un incendio de alta intensidad, se tiene que la temperatura máxima en la superficie se alcanzó en un tiempo de 125 min, correspondientes a 310,6°C. A 1 cm en un tiempo de 115 min se tiene una temperatura de 80°C. A 3 y 5 cm en un tiempo de 155 min tiempo del ensayo, las temperaturas correspondían a 39,6°C y 39,2°C respectivamente.

Tabla 13.
Relación temperatura vs tiempo M3 Antisana (IA).

| Muestra 3 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Alta | Coordenadas | 0805474 | 9945096 |
| Fecha de Tratamiento | | 23/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T. 3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 11:50 | 0 | 18 | 14,4 | 14,1 | 13,2 |
| 11:55 | 5 | 59,5 | 23,1 | 14,7 | 13,5 |
| 12:00 | 10 | 122 | 24,6 | 16,4 | 14,2 |
| 12:05 | 15 | 134,3 | 29,6 | 18,4 | 15 |
| 12:10 | 20 | 152,4 | 33,4 | 19 | 15,5 |
| 12:15 | 25 | 158,7 | 36,4 | 19 | 15,7 |
| 12:20 | 30 | 165,4 | 41,5 | 19,5 | 16 |
| 12:25 | 35 | 167,6 | 46,1 | 20 | 15,8 |
| 12:30 | 40 | 170,3 | 50,5 | 19,9 | 15,3 |
| 12:35 | 45 | 174 | 52,5 | 20,2 | 15,5 |
| 12:40 | 50 | 177 | 52 | 19,7 | 15,8 |
| 12:45 | 55 | 178,5 | 52,3 | 20,4 | 16,5 |
| 12:50 | 60 | 179,5 | 55,1 | 20,6 | 17 |
| 12:55 | 65 | 181,4 | 54,5 | 20,4 | 17,9 |
| 13:00 | 70 | 190 | 55,7 | 20,8 | 18,5 |
| 13:05 | 75 | 206,5 | 57,5 | 22,3 | 19,3 |
| 13:10 | 80 | 213,7 | 59,5 | 25,6 | 20,9 |
| 13:15 | 85 | 214,6 | 59,1 | 25,4 | 21,2 |
| 13:20 | 90 | 210,5 | 59,9 | 26,7 | 22,8 |
| 13:25 | 95 | 214,2 | 58,5 | 27,6 | 24,2 |
| 13:30 | 100 | 212,4 | 60 | 29 | 25,5 |
| 13:35 | 105 | 208,2 | 61,3 | 30,9 | 26,6 |
| 13:40 | 110 | 237 | 76,9 | 32,4 | 27,6 |
| 13:45 | 115 | 280 | 80 | 36,5 | 29,7 |
| 13:50 | 120 | 305 | 66,7 | 36,9 | 29,9 |
| 13:55 | 125 | 310,6 | 51,4 | 37,7 | 30,8 |
| 14:00 | 135 | 78,5 | 67,1 | 33,7 | 33,4 |
| 14:05 | 140 | 56,2 | 51,3 | 34,6 | 34,9 |
| 14:10 | 145 | 50,5 | 44,3 | 36,8 | 36,2 |
| 14:15 | 150 | 45,6 | 41,2 | 38 | 38 |
| 14:20 | 155 | 40,3 | 36,7 | 39,6 | 39,2 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

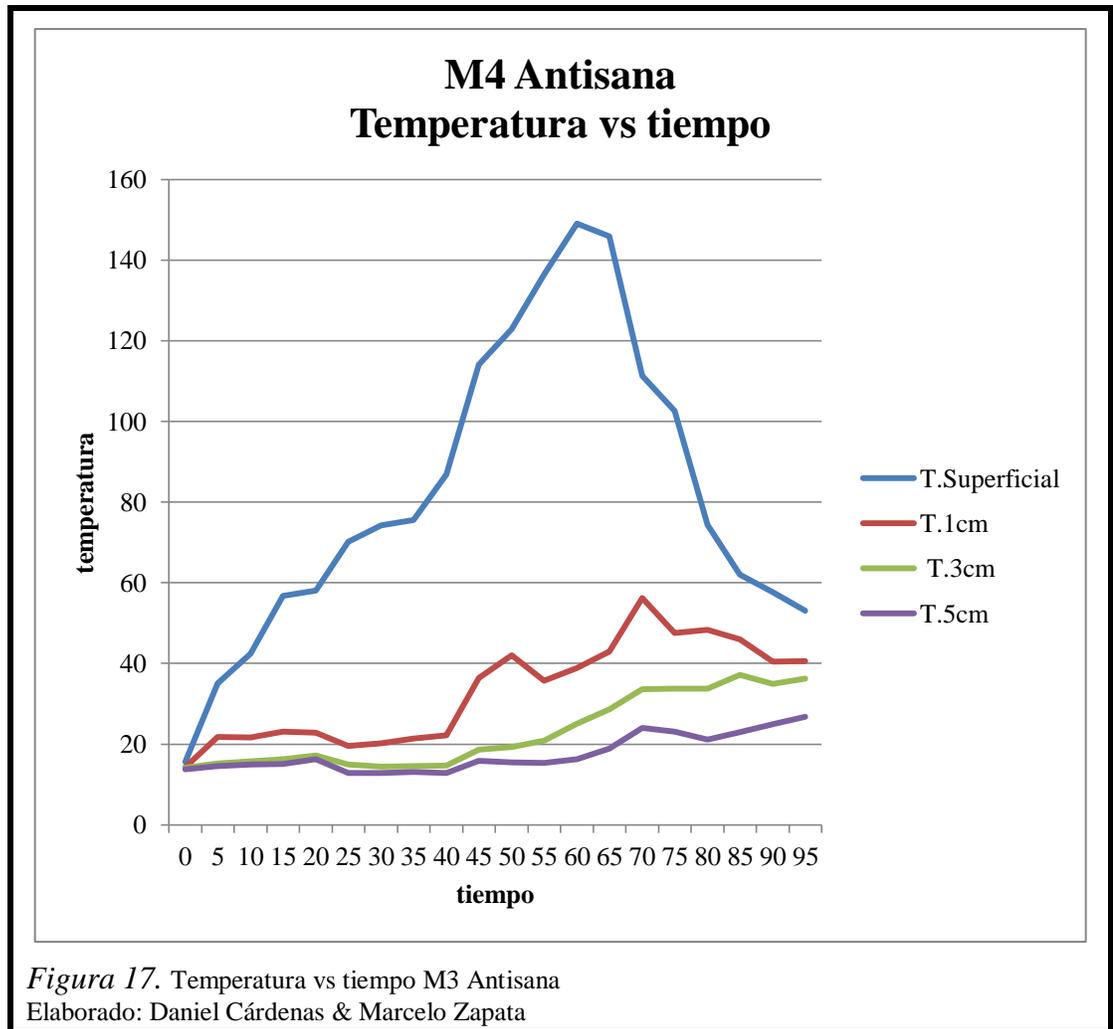


En la muestra 4 simulación media, se obtuvo que la temperatura máxima superficial en un tiempo de 60 min fue 149°C mientras que a los 70 min a 1cm se alcanzó 56,2°C, a 3 cm en un tiempo de 80 min fue de 33,7 °C y a 5 cm en un tiempo de 95 min tiempo del ensayo, la temperatura fue de 26,8°C.

Tabla 14.
Relación temperatura vs tiempo M4 Antisana (IM).

| Muestra4 | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Tipo de Tratamiento Térmico | | Media | Coordenadas | 0805466 | 9945156 |
| Fecha de Tratamiento | | 23/01/2015 | | | |
| Hora | Tiempo(min) | T.Sup(°C) | T. 1cm(°C) | T. 3cm(°C) | T. 5cm(°C) |
| 10:10 | 0 | 15,6 | 14,3 | 14,1 | 13,7 |
| 10:15 | 5 | 35 | 21,8 | 15,2 | 14,5 |
| 10:20 | 10 | 42,4 | 21,7 | 15,7 | 15 |
| 10:25 | 15 | 56,7 | 23,1 | 16,2 | 15,1 |
| 10:30 | 20 | 58 | 22,8 | 17,2 | 16,3 |
| 10:35 | 25 | 70,2 | 19,5 | 14,9 | 12,9 |
| 10:40 | 30 | 74,2 | 20,2 | 14,4 | 12,9 |
| 10:45 | 35 | 75,5 | 21,4 | 14,6 | 13,1 |
| 10:50 | 40 | 86,9 | 22,2 | 14,7 | 12,9 |
| 10:55 | 45 | 114,1 | 36,4 | 18,6 | 15,8 |
| 11:00 | 50 | 122,8 | 42 | 19,3 | 15,5 |
| 11:05 | 55 | 136,4 | 35,7 | 20,8 | 15,3 |
| 11:10 | 60 | 149 | 38,9 | 25 | 16,2 |
| 11:15 | 65 | 145,9 | 42,9 | 28,6 | 18,9 |
| 11:20 | 70 | 111,3 | 56,2 | 33,6 | 24 |
| 11:25 | 75 | 102,6 | 47,5 | 33,7 | 23,1 |
| 11:30 | 80 | 74,4 | 48,3 | 33,7 | 21,1 |
| 11:35 | 85 | 62 | 46 | 37,2 | 23 |
| 11:40 | 90 | 57,6 | 40,5 | 34,9 | 24,9 |
| 11:45 | 95 | 53,1 | 40,6 | 36,2 | 26,8 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.



En general, en todas las muestras sometidas a calentamiento de media y alta intensidad las temperaturas mínimas y máximas que alcanza un incendio de intensidad media en la zona de Antisana se encuentra en el rango de 145 - 250°C con un tiempo promedio de 62,5 minutos, y los incendios de intensidad alta inicia a partir de los 260°C en adelante con un tiempo promedio de 90 minutos.

En la simulación realizada se trató de recrear incendios de media y alta intensidad, llegando a presentar temperaturas iniciales de 145°C y 260°C respectivamente para la zona de Antisana, mientras que para la zona de Ungüi, presenta temperaturas iniciales de 245°C y 300°C respectivamente. Sin embargo, la temperatura inicial de un incendio de

alta intensidad en las muestras de Antisana tuvieron un valor de $260^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ la cual difiere de la temperatura inicial de las muestras de Ungüi.

Esta discrepancia encontrada puede responder a los factores que condicionan el gradiente de temperatura que se registra en el suelo durante un incendio, y que, según la investigación descrita por Mataix Solera, (1999), son principalmente: la humedad del suelo, la cantidad de biomasa vegetal y su humedad, la velocidad de propagación del fuego y el tiempo de residencia de las llamas.

4.1.3 Correlación entre las muestras con la variable tratamiento térmico (temperatura superficial), de cada una de las zonas de estudio

El coeficiente de determinación es una herramienta la cual ayuda a determinar la calidad del modelo para replicar los resultados y la proporcionalidad de variación de los resultados que el modelo desea explicar.

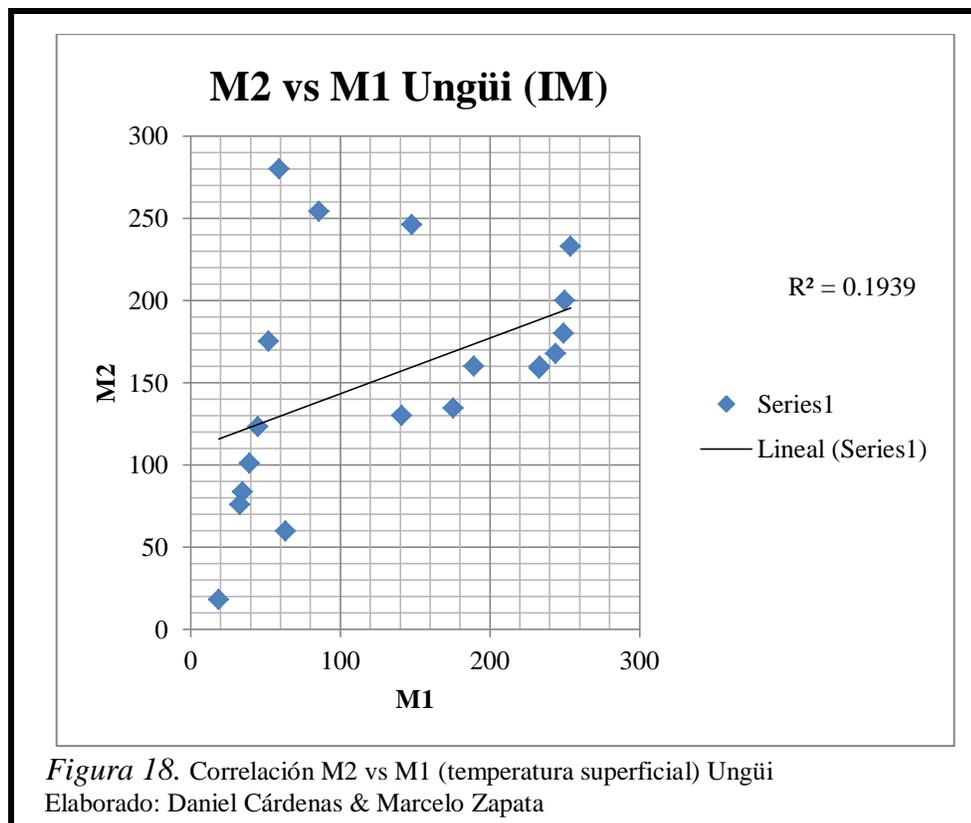


Figura 18. Correlación M2 vs M1 (temperatura superficial) Ungüi
Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

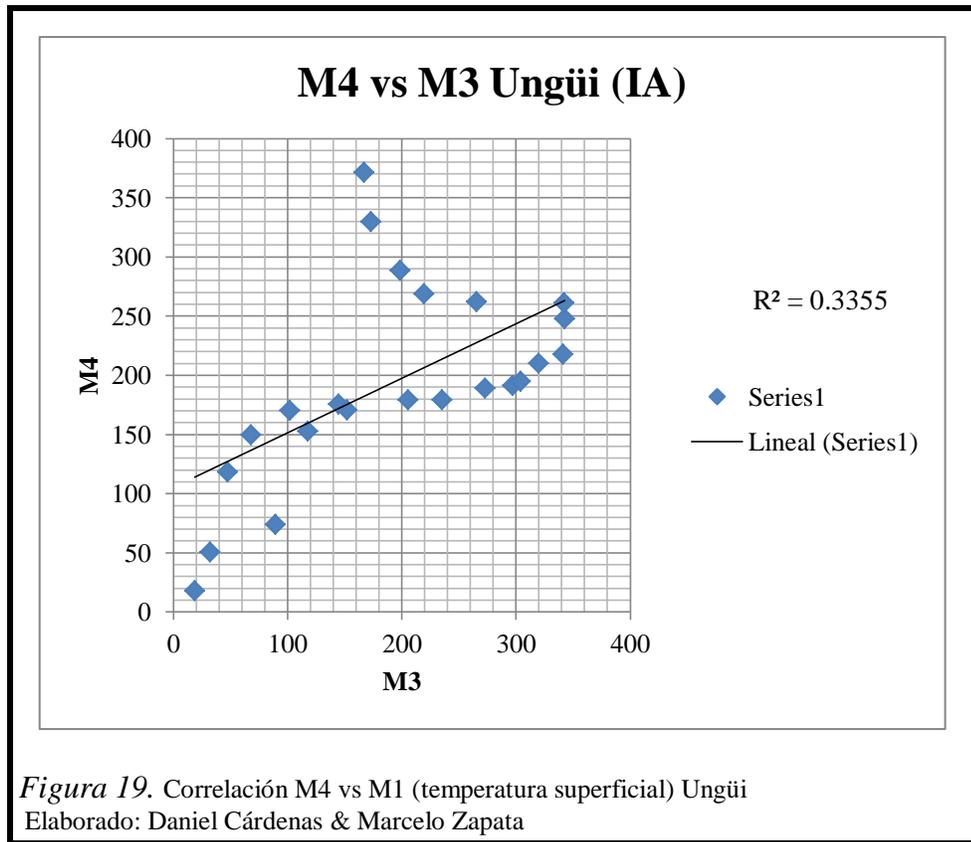


Figura 19. Correlación M4 vs M1 (temperatura superficial) Ungüi
Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

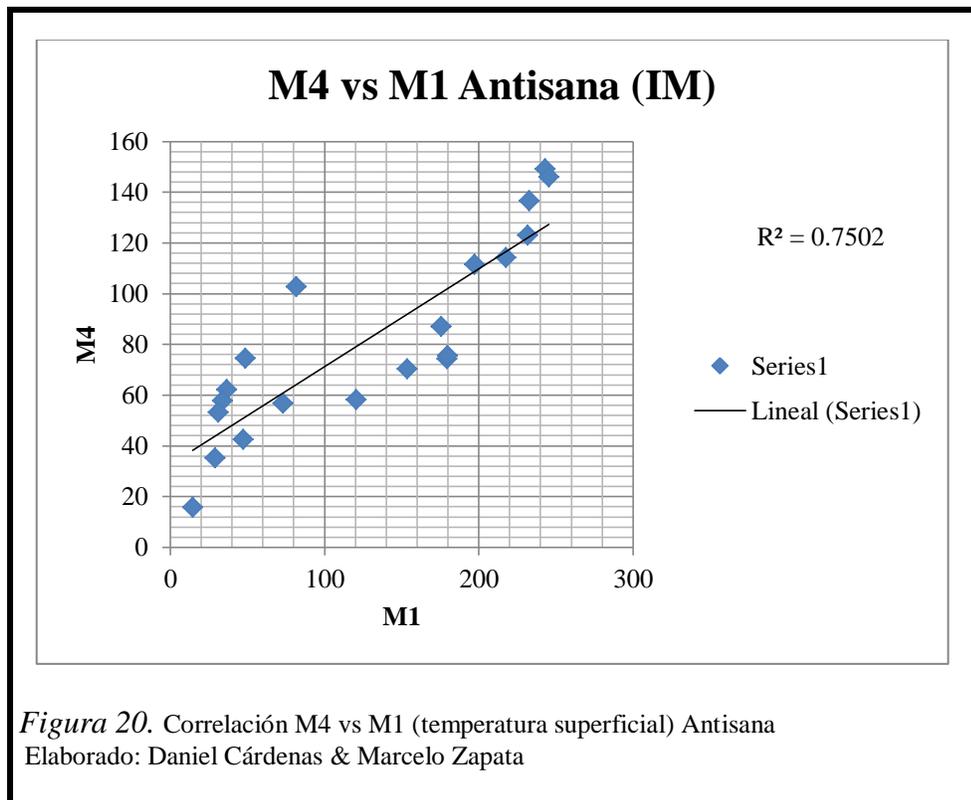
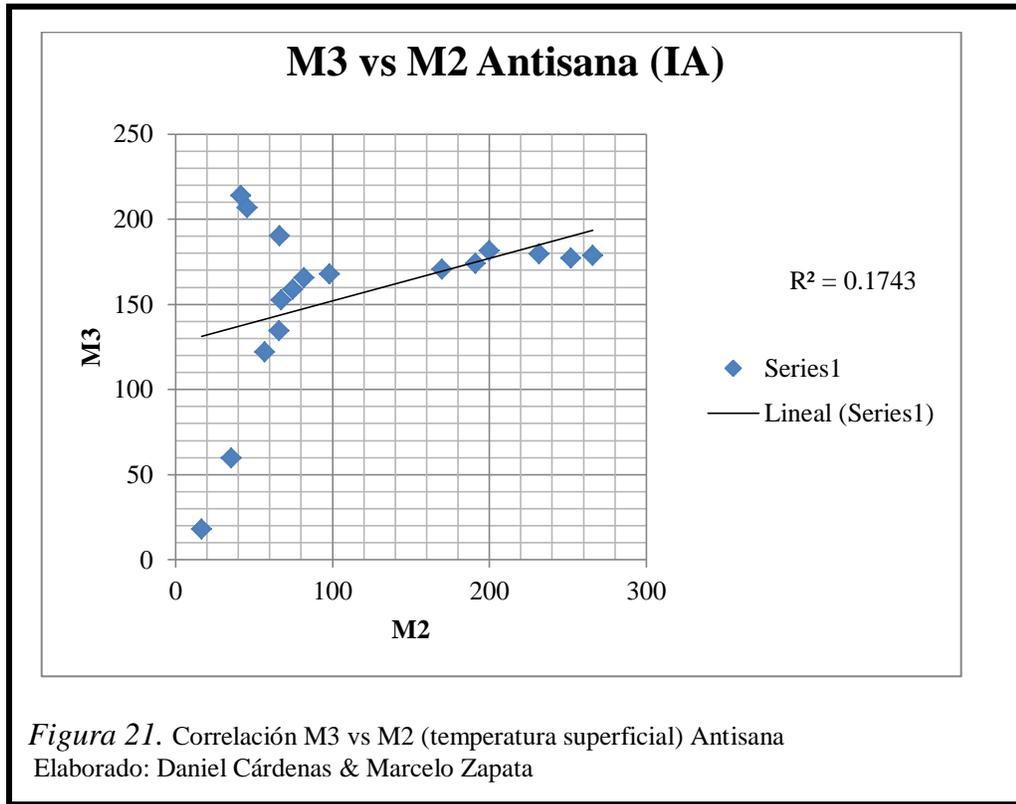


Figura 20. Correlación M4 vs M1 (temperatura superficial) Antisana
Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata



Los datos presentados por el coeficiente de determinación (R^2) para los tratamientos térmicos utilizados en la simulación de los incendios forestales (alta y media intensidad) revelan que en el modelo aplicado debe haber siempre un control de temperatura realizado con las termocuplas a las diferentes profundidades que se estén efectuando los experimentos, ya que según los resultados generados en esta investigación no se puede definir un tiempo específico para que una muestra llegue a una temperatura específica.

El R^2 más significativo es observado en la simulación de incendios de mediana intensidad con muestras procedentes del Antisana con un valor de 0,75.

La simulación del efecto del calentamiento en el suelo es un problema técnico indicado por algunos investigadores, que han intentado solventar este inconveniente realizando los trabajos en muflas cerradas, sin embargo, en estas simulaciones se utilizan muestras de suelo pequeñas (100 g) las cuales son previamente tamizadas, por lo que, estarían muy lejos de ser experimentos que simulen un incendio real.

4.2 pH

A continuación se presentan los valores obtenidos de pH en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.2.1 pH Ungüi

Tabla 15.
Resultados de análisis pH (Ungüi)

| Parámetro analizado | | pH | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 6,03 | 6,04 | 5,81 | 5,80 | 5,90 | 5,89 |
| MT2 | | 5,94 | 5,95 | 5,89 | 5,86 | 5,89 | 5,85 |
| M1 | IM | 5,69 | 5,55 | 5,94 | 5,87 | 6,17 | 6,21 |
| M2 | | 6,44 | 6,45 | 6,48 | 6,49 | 6,68 | 6,60 |
| M3 | IA | 5,92 | 5,92 | 6,03 | 6,00 | 6,55 | 6,54 |
| M4 | | 6,83 | 6,85 | 6,87 | 6,83 | 6,71 | 6,81 |

Nota: SQ= Sin quemar, IM= Intensidad Media, IA= Intensidad Alta.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

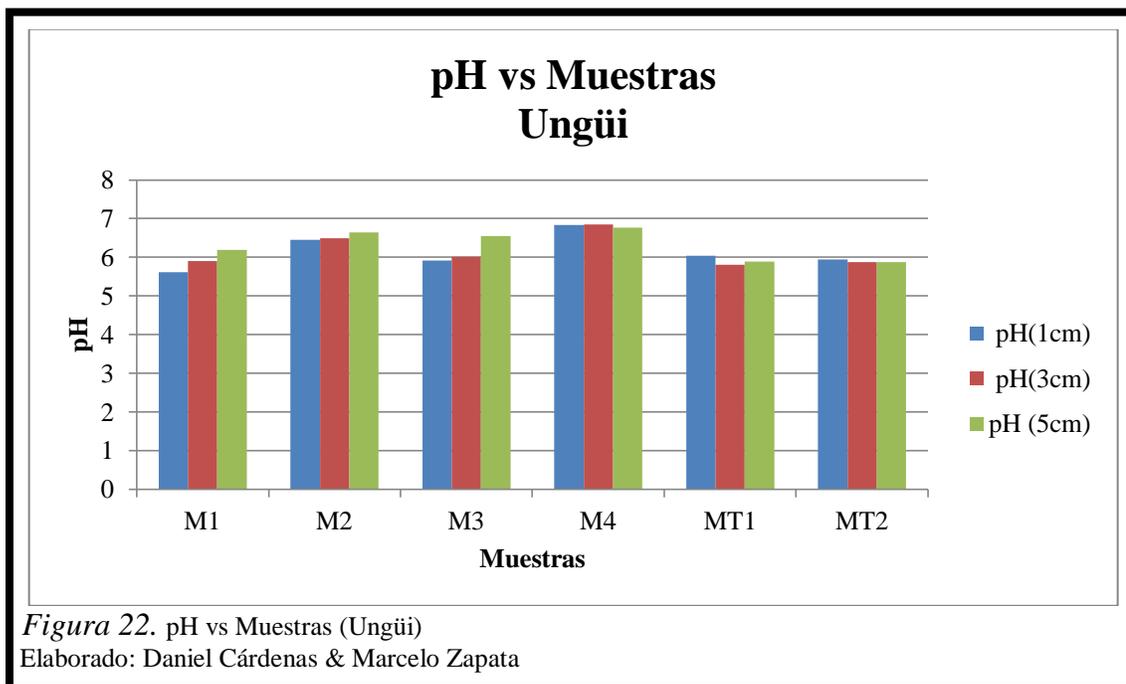


Tabla 16.
Análisis de varianza (ANOVA) pH Ungüi

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|-------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 1,46 | 0,1308 | NS |
| Profundidad | 0,13 | 0,8294 | NS |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 0,37 | 0,6949 | NS |
| CV | 13,39 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

La tabla 16 se muestra las fuentes de variación: Tratamiento térmico, Profundidad y la interacción entre ellas “Tratamiento térmico*Profundidad”, las cuales no presentan valores menores a 0,05 en “p-valor, lo que nos revela que los valores de pH no varían significativamente en las muestras de Ungüi aplicando nuestro modelo de simulación de incendios forestales.

4.2.2 pH Antisana

Tabla 17.
Resultados de análisis pH (Antisana)

| Parámetro analizado | | pH | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 5,72 | 5,74 | 5,74 | 5,75 | 5,59 | 5,58 |
| MT2 | | 5,74 | 5,77 | 5,68 | 5,73 | 5,60 | 5,59 |
| M1 | IM | 5,75 | 5,86 | 5,94 | 5,47 | 5,57 | 5,56 |
| M4 | | 6,58 | 6,45 | 6,21 | 6,31 | 5,95 | 5,91 |
| M2 | IA | 7,92 | 7,95 | 7,55 | 7,59 | 7,18 | 7,19 |
| M3 | | 6,84 | 6,60 | 6,79 | 6,79 | 6,62 | 6,60 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

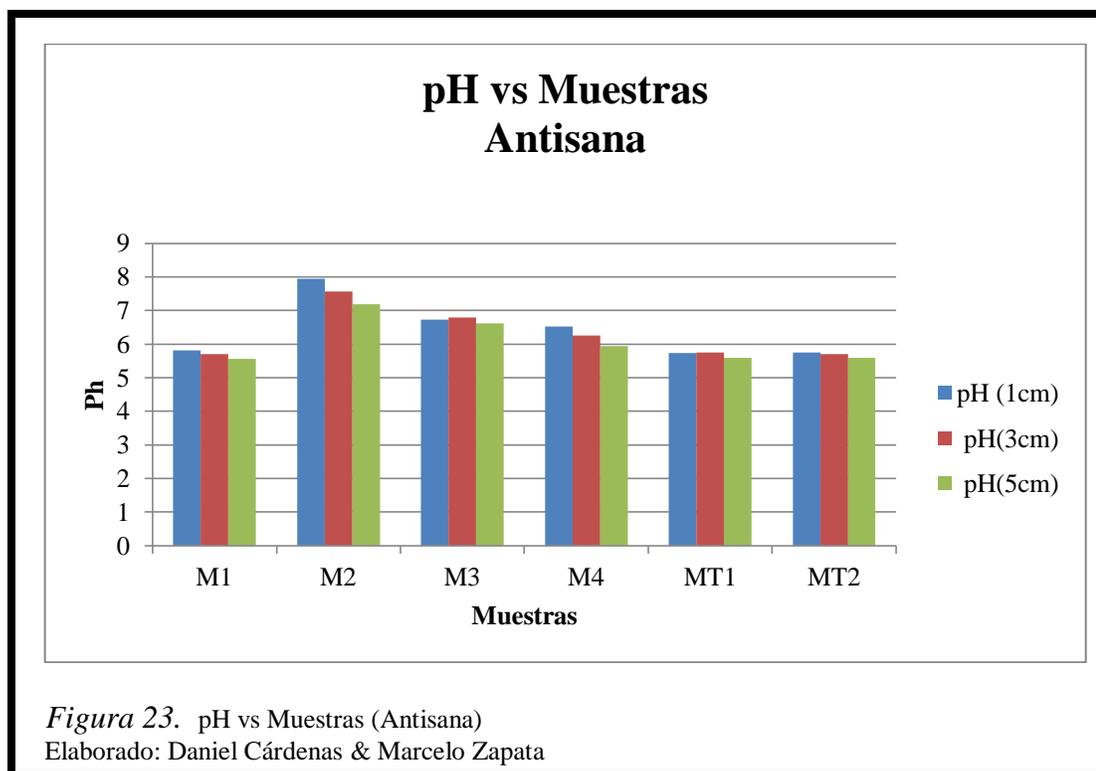


Tabla 18.
Análisis de varianza (ANOVA) pH Antisana

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 7,10 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,34 | 0,0921 | NS |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 0,02 | 0,9420 | NS |
| CV | 5,77 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 18 mediante el método ANOVA, la fuente de variación que alcanzó valores menores a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico, siendo este el que va a determinar el cambio de pH en las muestras.

Tabla 19.
Análisis prueba de Tukey para pH con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana)

| Tratamientos térmicos | Medias | N | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| SQ | 5,69 | 12 | 0,10 A |
| IM | 5,96 | 12 | 0,10 A |
| IA | 7.14 | 12 | 0,10 B |

Nota.EE=Error estándar, N=número de repeticiones
 Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

En la tabla 19 se presenta las diferencias existentes entre las medias de pH de las muestras expuestas a los diferentes tratamientos térmicos, donde se observa que los valores de dicho parámetro, aumentan dependiendo de la intensidad de los tratamientos térmicos, teniéndose una diferencia significativa en los valores de pH obtenidos en las muestras que fueron sometidas a tratamientos de IA con respecto a los demás tratamientos aplicados, SQ e IM.

4.2.3 Análisis de resultados de pH

Las medidas de los valores de pH en Ungui y Antisana aumentan después de aplicar el tratamiento térmico indicado para las distintas muestras con respecto a sus respectivas muestras testigo, según Varela (2007) los valores de pH generalmente se incrementan en los suelos quemados debido a la reducción de ácidos orgánicos, y al aporte de cenizas con carácter alcalino.

En la tabla 19, se observa que las medidas de pH en Antisana, son mayores después de aplicar los distintos tratamientos térmicos, esto podría atribuirse al alto contenido de materia orgánica existente en el suelo de Antisana.

Con respecto a Ungüi no existió una variación significativa en los valores de pH esto podría deberse al bajo contenido de materia orgánica en estos suelos, según Mataix (1999), en incendios en donde la combustión de la materia orgánica es muy baja, los cambios en el pH son insignificantes.

El mayor aumento en los valores de pH se produce en las muestras a las que se les ha sometido a un tratamiento térmico de alta intensidad y que según Varela (2007), en los casos en los que la intensidad del incendio es alta, se produce una gran combustión de la materia orgánica del suelo además de la presencia de cenizas con carácter alcalino, provocando que el pH pueda llegar a aumentar varias unidades.

4.3 Conductividad eléctrica

A continuación se presentan los valores obtenidos de conductividad eléctrica en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.3.1 Conductividad eléctrica Ungüi

Tabla 20.
Resultados de análisis conductividad eléctrica (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Conductividad eléctrica(mS/cm) | | | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Muestras | Tratamiento Térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 0,205 | 0,208 | 0,149 | 0,147 | 0,0617 | 0,0615 |
| MT2 | | 0,183 | 0,185 | 0,152 | 0,155 | 0,0615 | 0,0618 |
| M1 | IM | 0,297 | 0,286 | 0,152 | 0,151 | 0,0719 | 0,0707 |
| M2 | | 1,363 | 1,366 | 0,443 | 0,445 | 0,620 | 0,621 |
| M3 | IA | 0,321 | 0,322 | 0,175 | 0,172 | 0,0722 | 0,0732 |
| M4 | | 0,548 | 0,540 | 0,442 | 0,443 | 0,413 | 0,414 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

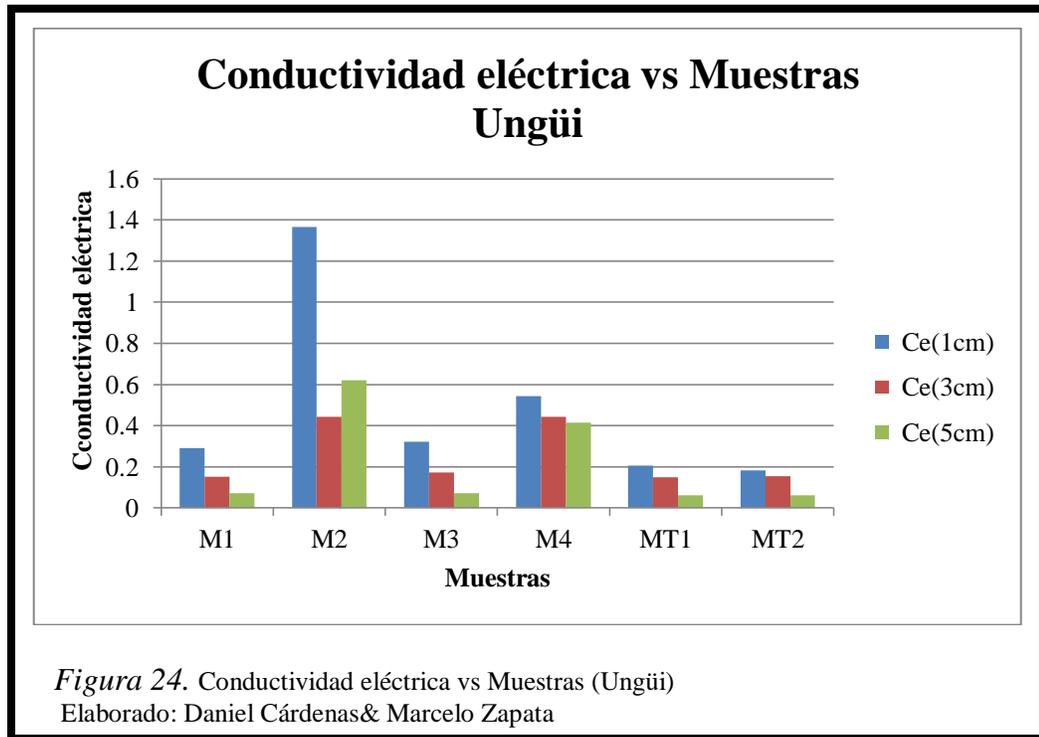


Tabla 21.

Análisis de varianza (ANOVA) conductividad eléctrica (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 0,38 | 0,0083 | S |
| Profundidad | 0,26 | 0,0330 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 0,07 | 0,3786 | NS |
| CV | 12,5 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 21 mediante el método ANOVA para el parámetro conductividad eléctrica de las muestras de Ungüi, las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” son el tratamiento térmico y la profundidad, siendo estas las que van a determinar el cambio en la conductividad eléctrica en las muestras.

Tabla 22.

Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | n | E.E. |
|---------------------|--------|----|----------|
| SQ | 0,14 | 12 | 0,07 A |
| IA | 0,33 | 12 | 0,07 A B |
| IM | 0,49 | 12 | 0,07 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 22 se presenta las diferencias existentes entre las medias de conductividad eléctrica de cada uno de las muestras sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras sometidas a tratamientos de IM presentan diferencias significativas con respecto a las muestras sometidas a los tratamientos SQ, mientras que las muestras de IA no presentan diferencias significativas con las muestras SQ e IM.

Tabla 23.

Análisis prueba de Tukey para conductividad con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|----------|
| 5 | 0,22 | 12 | 0,07 A |
| 3 | 0,25 | 12 | 0,07 A B |
| 1 | 0,49 | 12 | 0,07 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 23 se muestran los valores medios de conductividad eléctrica de todas las muestras a diferentes profundidades, dando como resultado, que existe una diferencia significativa a 1 centímetro con respecto a la medida a 5 cm, mientras que las muestras a 3 cm no tienen diferencias significativas con las muestras a 3 y 5 cm. Es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Ungüi, tienden a presentar valores menores con respecto a las profundidades más superficiales.

4.3.2 Conductividad eléctrica Antisana

Tabla 24.

Resultados de análisis conductividad eléctrica (Antisana)

| Parámetro analizado | | Conductividad eléctrica(mS/cm) | | | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 0,682 | 0,68 | 0,462 | 0,468 | 0,486 | 0,486 |
| MT2 | | 0,855 | 0,856 | 0,503 | 0,503 | 0,39 | 0,39 |
| M1 | IM | 1,16 | 1,18 | 0,926 | 0,932 | 0,552 | 0,557 |
| M4 | | 1,87 | 1,69 | 0,934 | 0,862 | 0,919 | 0,917 |
| M2 | IA | 1,3 | 1,32 | 0,661 | 0,669 | 0,624 | 0,633 |
| M3 | | 1,25 | 1,29 | 0,457 | 0,452 | 0,241 | 0,243 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

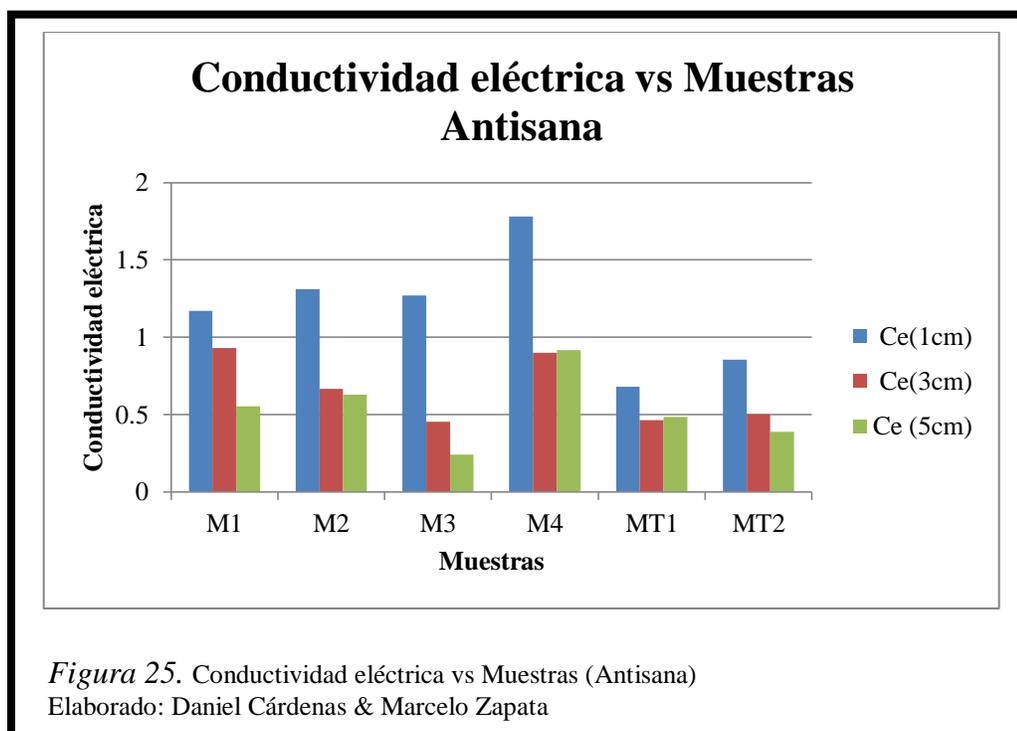


Figura 25. Conductividad eléctrica vs Muestras (Antisana)

Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

Tabla 25.
Análisis de varianza (ANOVA) conductividad eléctrica (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|-------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamientos térmicos | 0,69 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 1,40 | <0,0001 | S |
| Tratamiento*profundidad | 0,09 | 0,0521 | NS |
| CV | 21,2 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 25 mediante el método ANOVA, las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” son el tratamiento térmico y la profundidad, siendo estas las que van a determinar el cambio en la conductividad eléctrica de las muestras.

Tabla 26.
Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana)

| Tratamientos térmicos | Medias | n | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| SQ | 0,56 | 12 | 0,05 A |
| IA | 0,76 | 12 | 0,05 A |
| IM | 1,04 | 12 | 0,05 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 26 se presenta las diferencias existentes entre las medias de conductividad eléctrica de las muestras, a las que se les aplicó los diferentes tratamientos térmicos, teniendo que entre las muestras sometidas a tratamiento térmicos SQ e IA no existe una diferencia significativa mientras que las muestras sometidas a tratamientos térmicos de MI existe una diferencia significativa con respecto a las demás tratamientos SQ e IA. Teniendo los valores más altos de conductividad en las muestras en las cuales se aplicó un tratamiento de IM.

Tabla 27.
Análisis prueba de Tukey para conductividad eléctrica con fuente de variación profundidad (Antisana)

| Profundidad | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|--------|
| 5 | 0,54 | 12 | 0,05 A |
| 3 | 0,65 | 12 | 0,05 A |
| 1 | 1,18 | 12 | 0,05 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 27 se muestran los valores medios de conductividad eléctrica de las muestras a diferentes profundidades, dando como resultado, que existe una diferencia significativa a 1 centímetro con respecto a la medida a 3 y 5 cm, es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Antisana, tienden a presentar valores menores con respecto a las profundidades más superficiales.

4.3.3 Análisis de resultados de la conductividad eléctrica

Las medidas de la conductividad eléctrica de los lugares de estudio Ungüi y Antisana tablas 20 y 24, aumentan después de aplicarles los respectivos tratamientos térmicos en relación a sus muestras testigo. Teniéndose que a 1cm de profundidad, dicho parámetro aumenta en relación a las profundidades de 3 y 5 cm, siendo Antisana la zona de estudio donde se produjo un aumento de conductividad mayor que en Ungüi.

Dicho aumento podría deberse a la combustión de la materia orgánica y que según (Reyes de Celis, Jordán, & Zavala, 2013), tras la exposición a temperaturas moderadas, la conductividad eléctrica del suelo puede aumentar notablemente por la incorporación de sales solubles procedentes de la combustión de la materia orgánica.

4.4 Humedad

A continuación se presentan los valores obtenidos de humedad en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.4.1 Humedad Ungüi

Tabla 28.
Resultados de análisis Humedad (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Humedad (%) | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|-------|------|-------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 17,6 |
| MT2 | | 14 | 13,88 | 16 | 15,75 | 15 | 14,9 |
| M1 | IM | 1,2 | 1,4 | 2,5 | 2,6 | 1,3 | 1,4 |
| M2 | | 2,1 | 1,9 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 |
| M3 | IA | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 3,5 | 3,6 |
| M4 | | 2 | 1,9 | 1,1 | 1 | 1,4 | 1,42 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

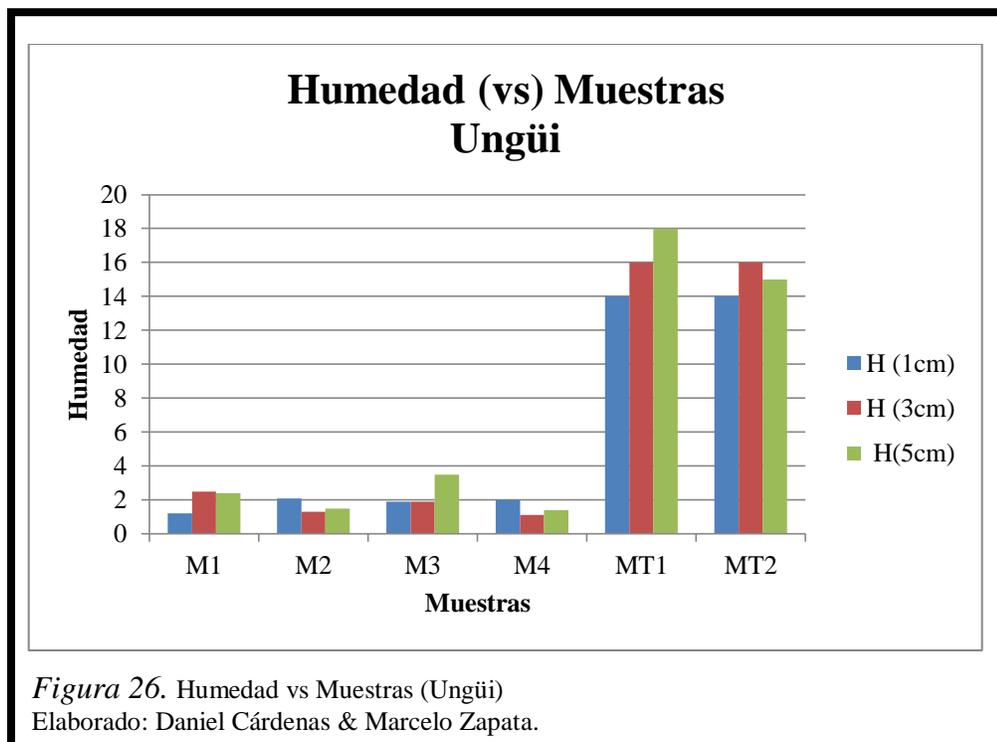


Tabla 29.
Análisis de varianza (ANOVA) Humedad (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|--------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 740,27 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 2,59 | 0,0247 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 2,41 | 0,0119 | S |
| CV | 12,2 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 29 mediante el método ANOVA, las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” son el tratamiento térmico, la profundidad y la relación entre ellas (tratamiento térmico*profundidad), siendo estas las que van a determinar el cambio de humedad en las muestras.

Tabla 30.
Análisis de la prueba de Tukey para humedad con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | n | E.E. |
|---------------------|--------|----|--------|
| IM | 1,68 | 12 | 0,23 A |
| IA | 1,97 | 12 | 0,23 A |
| SQ | 15,43 | 12 | 0,23 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 30 se presenta las diferencias existentes entre las medias de humedad de cada uno de las muestras de Ungüi sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras SQ, tienen una diferencia significativa con respecto a las muestras a las cuales se expuso a los tratamientos de IM e IA, teniendo que existe una disminución de la humedad al aplicar los distintos tratamientos térmicos.

Tabla 31.
Análisis de la prueba de Tukey para la humedad con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | N | E.E. |
|-------------|--------|----|----------|
| 1 | 5,84 | 12 | 0,23 A |
| 3 | 6,50 | 12 | 0,23 A B |
| 5 | 6,74 | 12 | 0,23 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 31 se muestran los valores medios de humedad de las muestras a diferentes profundidades, dando como resultado, que existe una diferencia significativa a 1 cm con respecto a la medida de 5 cm, mientras que a 3 cm no existe una diferencia significativa con las muestras a (1 y 5) cm. Es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Ungüi, tienden a presentar valores mayores con respecto a las profundidades más superficiales, las cuales tienen contacto directo con la fuente de calor.

Tabla 32.
*Análisis de la prueba de Tukey para la humedad con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)*

| Tratamiento térmico | Profundidad | Medias | n | E.E. |
|---------------------|-------------|--------|---|--------|
| IM | 5 | 1,45 | 4 | 0,39 A |
| IA | 3 | 1,63 | 4 | 0,39 A |
| IM | 1 | 1,65 | 4 | 0,39 A |
| IA | 1 | 1,90 | 4 | 0,39 A |
| IM | 3 | 1,95 | 4 | 0,39 A |
| IA | 5 | 2,38 | 4 | 0,39 A |
| SQ | 1 | 13,97 | 4 | 0,39 B |
| SQ | 3 | 15,94 | 4 | 0,39 C |
| SQ | 5 | 16,38 | 4 | 0,39 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

La tabla 32, tratamiento térmico*profundidad muestra que, no existe una diferencia significativa entre las medias de las muestras sometidas a los tratamientos térmicos de IM e IA a las diferentes profundidades, es decir, después de haber aplicado los tratamientos térmicos el porcentaje de humedad se mantiene relativamente parecido entre las muestras.

En las muestras SQ se presenta una diferencia significativa entre ellas, al aumentar la profundidad el nivel de humedad es mayor. En general se observa que la humedad disminuye al aplicar los diferentes tratamientos térmicos, teniendo los valores más altos de humedad en las muestras SQ a 5 cm y los de menor en las muestras IM a 5 cm.

4.4.2 Humedad Antisana

Tabla 33.
Resultados de análisis Humedad (Antisana)

| Parámetro analizado | | Humedad (%) | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 37 | 36,6 | 37,1 | 37,3 | 35,9 | 35,8 |
| MT2 | | 36,2 | 36,3 | 36,5 | 36,9 | 35,2 | 35,5 |
| M1 | IM | 25,4 | 25,5 | 24,7 | 24,8 | 27,7 | 27,9 |
| M4 | | 15,5 | 15,7 | 16,5 | 16,9 | 25,4 | 25,8 |
| M2 | IA | 15,7 | 15,9 | 11,2 | 11,5 | 21,9 | 22,2 |
| M3 | | 17,49 | 17,4 | 17,7 | 17,9 | 17,4 | 17,8 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

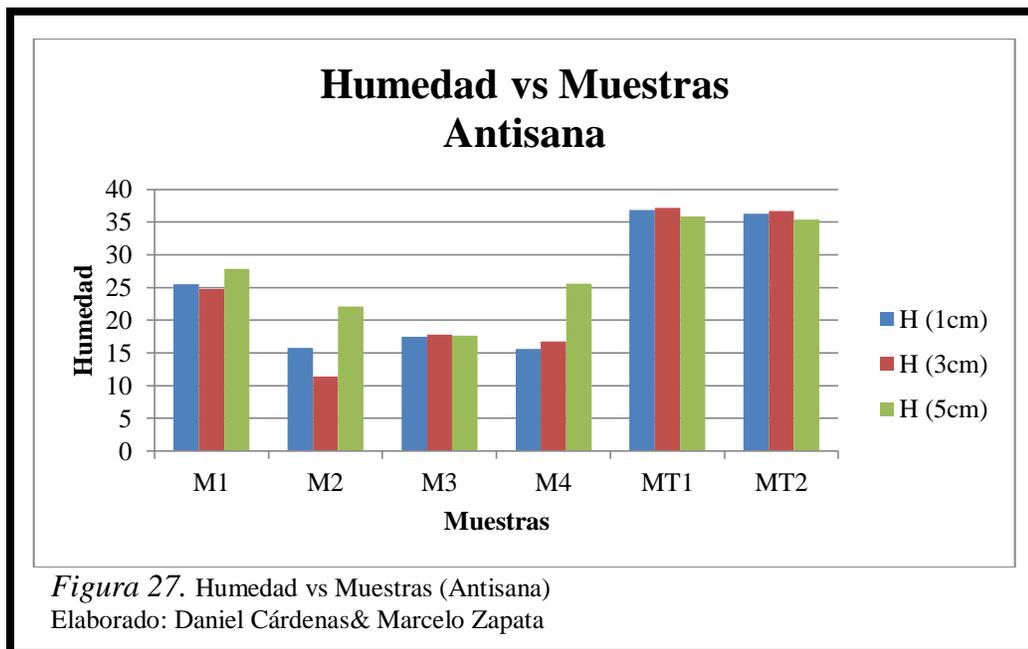


Tabla 34.
Análisis de varianza (ANOVA) Humedad (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|---------|---------|---------------|
| Tratamientos térmicos | 6994,34 | 0,0798 | NS |
| Profundidad | 3148,91 | 0,3020 | NS |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 2101,37 | 0,5146 | NS |
| CV | 11,5 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 34 las fuentes de variación no presentan valores menores a 0,05 en “p-valor”, lo que nos revela que la humedad no varía significativamente aplicando nuestro modelo de simulación de incendios forestales.

4.4.3 Análisis de resultados de humedad

Las medidas del porcentaje de humedad de los lugares de estudio Ungüi y Antisana tablas 28 y 33, disminuyen después de aplicar los respectivos tratamientos térmicos con relación a las muestras testigo, observándose que en Antisana existe una disminución menor del porcentaje de humedad con respecto a Ungüi. A profundidad de 1 cm es donde existe una mayor reducción del porcentaje de humedad respecto a las otras profundidades 3 y 5 cm.

Esto podría deberse a la cantidad de humedad existente en la vegetación y el suelo, lo cual hace que las temperaturas alcanzadas en Antisana sean menores que las temperaturas de Ungüi en los diferentes tratamientos térmicos simulados (alta y media intensidad) y que según Mataix (1999) 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.

4.5 Densidad

A continuación se presentan los valores obtenidos de densidad en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.5.1 Densidad Ungüi

Tabla 35.
Resultados de análisis densidad (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Densidad (g/cm ³) | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 2,267 | 2,257 | 2,343 | 2,261 | 2,633 | 2,347 |
| MT2 | | 1,918 | 1,908 | 2,170 | 2,165 | 2,123 | 2,120 |
| M1 | IM | 1,189 | 1,189 | 0,978 | 0,978 | 1,871 | 1,868 |
| M2 | | 1,198 | 1,190 | 0,980 | 0,986 | 1,917 | 1,872 |
| M3 | IA | 1,154 | 1,474 | 1,674 | 1,663 | 2,165 | 2,163 |
| M4 | | 1,492 | 1,489 | 1,377 | 1,378 | 1,499 | 1,450 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

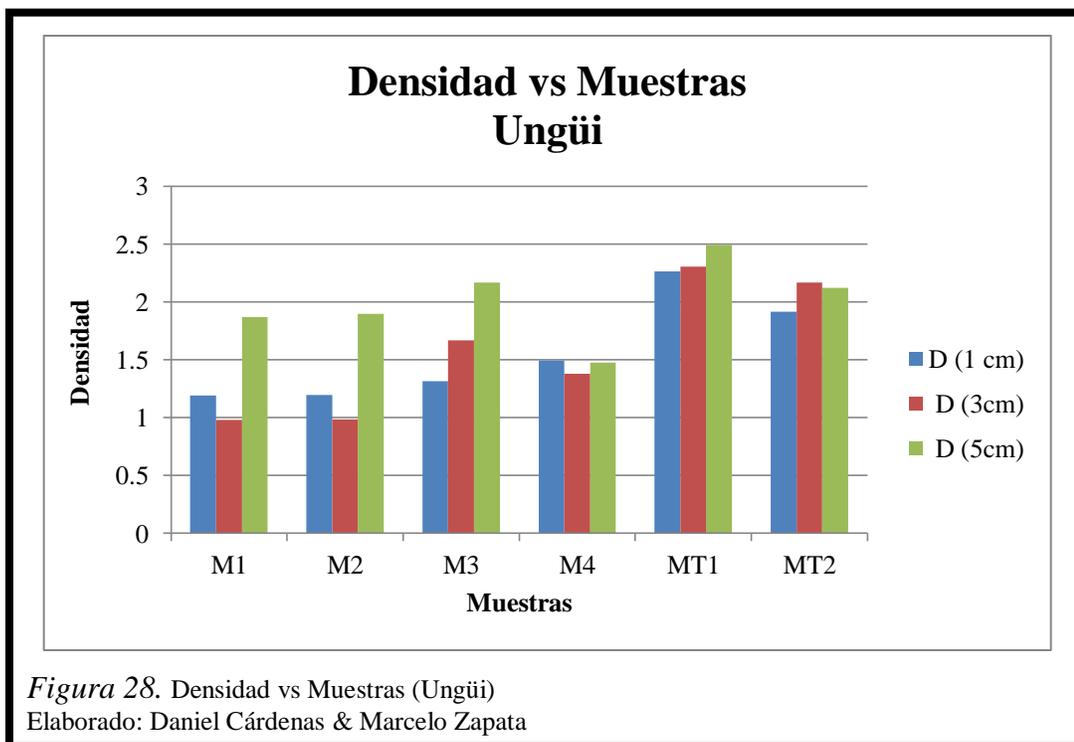


Tabla 36.
Análisis de varianza (ANOVA) Densidad (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 2,32 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,69 | <0,0001 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 0,19 | 0,0019 | S |
| CV | 10,5 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 36, las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico, la profundidad y la relación entre ellas (tratamiento térmico*profundidad), siendo estas las que van a determinar el cambio de densidad en las muestras.

Tabla 37.
Análisis prueba de Tukey para densidad con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | N | Grupo Tukey |
|---------------------|--------|----|-------------|
| IM | 1,35 | 12 | 0,05 A |
| IA | 1,61 | 12 | 0,05 B |
| SQ | 2,21 | 12 | 0,05 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 37 se presenta las diferencias existentes entre las medias de densidad de las muestras expuestas a los diferentes tratamientos térmicos donde se presenta que existe una diferencia significativa entre las muestras sometidas a los tratamientos térmicos (SQ, IM e IA).

Teniendo los valores más altos en las muestras SQ, los valores medios en las muestras de IA y los valores más bajos en las muestras donde se aplicó un tratamiento térmico de intensidad media.

Tabla 38.
Análisis prueba de Tukey para densidad con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | N | E.E. |
|-------------|--------|----|--------|
| 3 | 1,58 | 12 | 0,05 A |
| 1 | 1,59 | 12 | 0,05 A |
| 5 | 2,00 | 12 | 0,05 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 38 se muestran los valores medios de densidad, a diferentes profundidades, dando como resultado, que existe una diferencia significativa a 5 cm con respecto a las medidas de 1 y 3 cm, es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Ungüi, tienden a presentar valores mayores con respecto a las profundidades más superficiales.

Tabla 39.
*Análisis de la prueba de Tukey para densidad con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)*

| Tratamiento térmico | Profundidad | Medias | n | E.E. |
|---------------------|-------------|--------|---|------------|
| IM | 3 | 0,98 | 4 | 0,09 A |
| IM | 1 | 1,19 | 4 | 0,09 A B |
| IA | 1 | 1,50 | 4 | 0,09 B C |
| IA | 3 | 1,52 | 4 | 0,09 B C |
| IA | 5 | 1,82 | 4 | 0,09 C D |
| IM | 5 | 1,88 | 4 | 0,09 C D E |
| SQ | 1 | 2,09 | 4 | 0,09 D E |
| SQ | 3 | 2,23 | 4 | 0,09 D E |
| SQ | 5 | 2,31 | 4 | 0,09 E |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

La tabla 39, tratamiento térmico*profundidad muestra que, entre las medias de las muestras SQ a 1, 3 y 5 existe similitudes en su grupo Tukey lo que quiere decir que no son significativamente diferentes, de igual manera sucede con las medias de las muestras sometidas a tratamientos de IA. Las muestras sometidas a simulación de IM a profundidades de 1 y 3 cm no presentan significancia importante a diferencia con su similar a 5 cm, la cual no comparte el mismo grupo Tukey.

4.5.2 Densidad Antisana

Tabla 40.
Resultados de análisis densidad (Antisana)

| Parámetro analizado | | Densidad (g/cm ³) | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 1,233 | 1,235 | 1,390 | 1,392 | 1,374 | 1,363 |
| MT2 | | 1,233 | 1,232 | 1,409 | 1,410 | 1,485 | 1,485 |
| M1 | IM | 1,153 | 1,154 | 1,145 | 1,147 | 1,141 | 1,134 |
| M4 | | 1,530 | 1,526 | 1,232 | 1,224 | 1,883 | 1,878 |
| M2 | IA | 2,003 | 2,002 | 2,315 | 2,314 | 2,034 | 2,034 |
| M3 | | 2,244 | 2,243 | 2,383 | 2,394 | 2,228 | 2,232 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

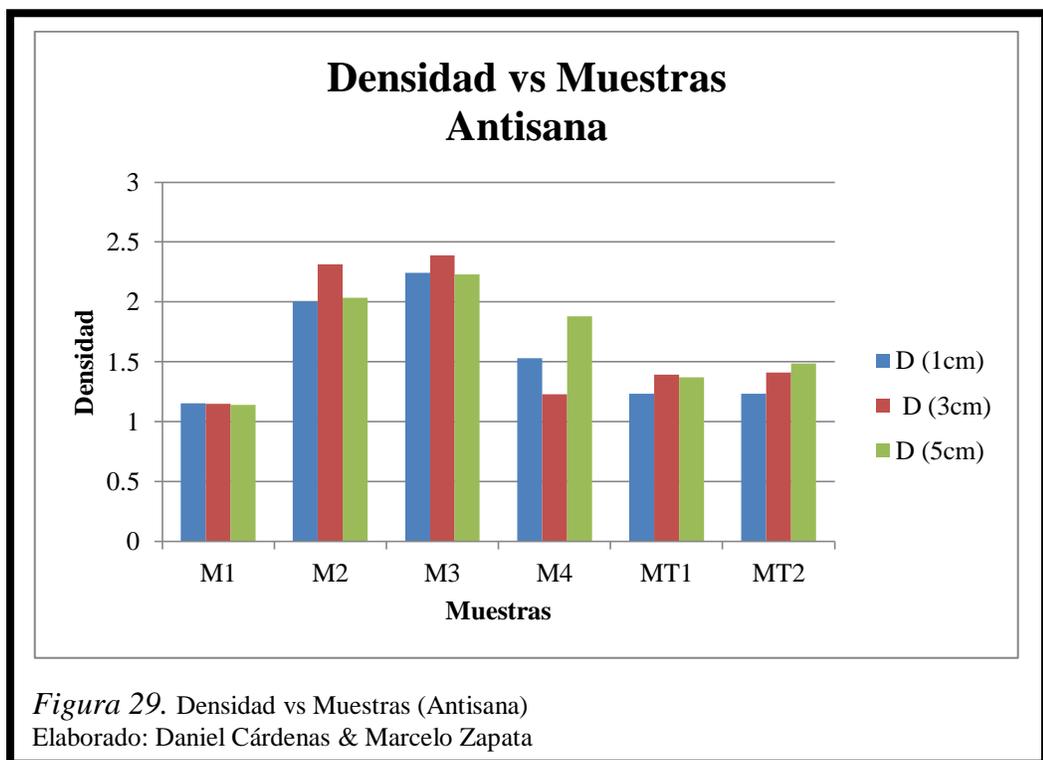


Figura 29. Densidad vs Muestras (Antisana)
Elaborado: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata

Tabla 41.
Análisis de varianza (ANOVA) Densidad (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|-----------------------------------|-----------|----------------|----------------------|
| Tratamientos térmicos | 2,91 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,05 | 0,2276 | NS |
| Tratamientos térmicos*Profundidad | 0,08 | 0,0572 | NS |
| CV | 10,6 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 41 mediante el método ANOVA, la fuente de variación más importante que alcanzó valores menores a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico (SQ,IM e IA), siendo está la que va a determinar el cambio de densidad en las muestras.

Tabla 42.
Análisis prueba de Tukey para de densidad con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana)

| Tratamientos térmicos | Medias | n | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| IM | 1,35 | 12 | 0,05 A |
| SQ | 1,35 | 12 | 0,05 A |
| IA | 2,20 | 12 | 0,05 B |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 42 se presenta las diferencias existentes entre las medias de densidad de cada uno de las muestras sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde se tiene una diferencia significativa entre las muestras de IA, con respecto a las muestras expuestas a los tratamientos SQ e IM, los valores más altos se presentan en las muestras de IA, mientras que los valores en las muestras sometidas a tratamientos de IM y SQ son los mismos.

4.5.3 Análisis de resultados de densidad

La tabla 37, indica que en Ungüi, existe una mayor disminución en los valores de densidad, en aquellas muestras sometidas a tratamientos de IM con respecto a las muestras SQ, mientras que en el tratamiento térmico de IA se nota un aumento en sus

valores con respecto a las muestras de IM, esto podría deberse a la reagrupación de los agregados y que según Varela (2007), la densidad puede cambiar debido a la reagregación de las fracciones más finas del suelo por efecto del calor, produciéndose cambios en la distribución del tamaño de las partículas.

En las muestras de Antisana al igual que en Ungüi, existe un aumento de la densidad después de aplicar el tratamiento de IA, en comparación con aquellas sometidas a incendios de IM y SQ, lo cual podría atribuirse a lo anteriormente mencionado por Varela (2007).

4.6 Carbono Orgánico

A continuación se presentan los valores obtenidos de carbono orgánico en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.6.1 Carbono orgánico Ungüi

Tabla 43.

Resultados de análisis carbono orgánico (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Carbono Orgánico | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 4,29 | 4,29 | 3,28 | 3,28 | 2,96 | 2,96 |
| MT2 | | 4,68 | 4,68 | 3,51 | 3,51 | 2,96 | 2,96 |
| M1 | IM | 1,95 | 1,72 | 2,11 | 3,12 | 0,47 | 0,78 |
| M2 | | 2,96 | 2,98 | 3,12 | 3,12 | 1,56 | 1,17 |
| M3 | IA | 3,90 | 4,06 | 1,72 | 1,95 | 2,26 | 2,03 |
| M4 | | 3,51 | 3,55 | 1,95 | 2,26 | 2,50 | 2,73 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

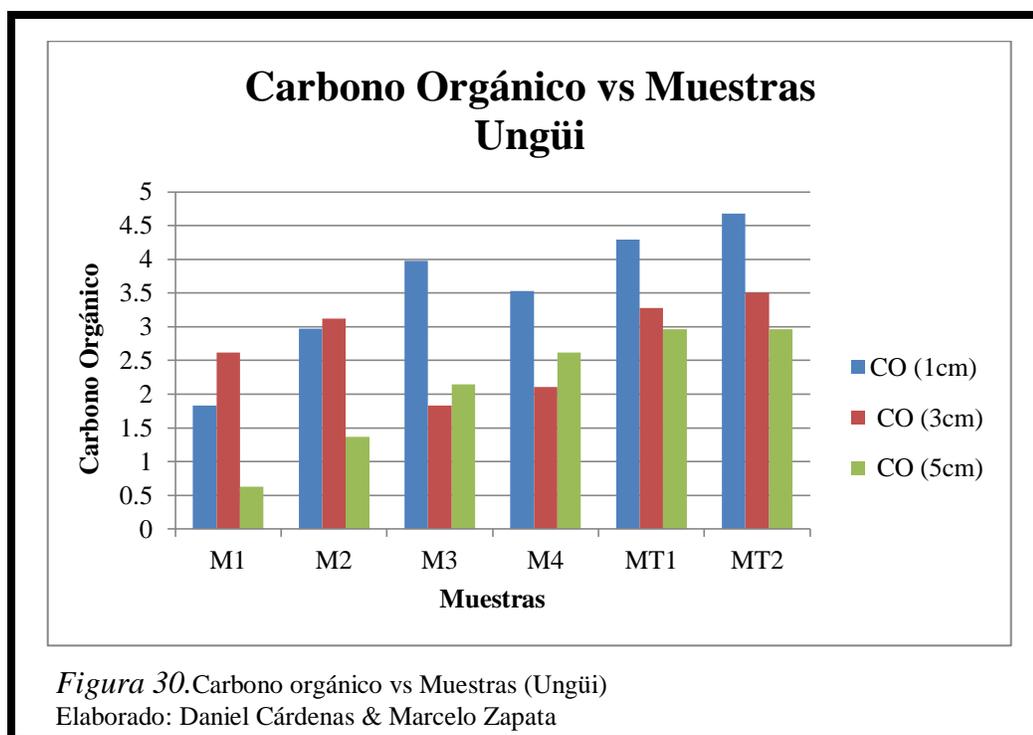


Tabla 44.
Análisis de varianza (ANOVA) Carbono orgánico (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 7,07 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 6,21 | <0,0001 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 1,78 | <0,0001 | S |
| CV | 13,2 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 44 mediante el método ANOVA, presenta que las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico (SQ, IM e IA), la profundidad (1,3 y 5 cm) y la relación entre tratamiento térmico*profundidad, siendo estas las que va a determinar el cambio de carbono orgánico en las muestras.

Tabla 45.
Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | n | E.E. |
|---------------------|--------|----|--------|
| IM | 2,09 | 12 | 0,11 A |
| IA | 2,70 | 12 | 0,11 B |
| SQ | 3,61 | 12 | 0,11 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 45 se presenta las diferencias existentes entre las medias de carbono orgánico de las muestras de Ungüi sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras expuestas a tratamientos térmicos (SQ, IM e IA), tienen diferencias significativas entre ellas, teniendo que existe una disminución del carbono orgánico dependiendo del tratamiento térmico aplicado. Se observa que en las muestras SQ existe una mayor cantidad de carbono orgánico, que las muestras de IA, mientras que en las muestras de IM se presentan los valores más bajos de carbono orgánico.

Tabla 46.
Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|--------|
| 5 | 2,11 | 12 | 0,11 A |
| 3 | 2,74 | 12 | 0,11 B |
| 1 | 3,55 | 12 | 0,11 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 46 se muestran los valores medios de carbono orgánico de las muestras a diferentes profundidades, dando como resultado, que existe una diferencia significativa a 1,3 y 5 cm de profundidad, es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Ungüi, tienden a presentar valores menores con respecto a las profundidades más superficiales, las cuales tienen un contacto directo con la fuente de calor.

Tabla 47.

*Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)*

| Tratamiento térmico | Profundidad | Medias | n | E.E. |
|---------------------|-------------|--------|---|------------|
| IM | 5 | 1,00 | 4 | 0,18 A |
| IA | 3 | 1,97 | 4 | 0,18 B |
| IA | 5 | 2,38 | 4 | 0,18 B C |
| IM | 1 | 2,40 | 4 | 0,18 B C |
| IM | 3 | 2,87 | 4 | 0,18 C D |
| SQ | 5 | 2,96 | 4 | 0,18 C D E |
| SQ | 3 | 3,40 | 4 | 0,18 D E |
| IA | 1 | 3,76 | 4 | 0,18 E F |
| SQ | 1 | 4,49 | 4 | 0,18 F |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 47 se presentan los valores medios de carbono relacionando las fuentes de variación tratamiento térmico* profundidad teniendo que las diferencias más significativas se encuentran en las muestras de IM a 5 cm con respecto a las muestras SQ a 1cm, siendo en la IM a 5 cm donde se produjo una reducción mayor en el contenido de carbono con respecto a las muestras SQ a 1cm.

4.6.2 Carbono orgánico Antisana

Tabla 48.

Resultados de análisis carbono orgánico (Antisana)

| Parámetro analizado | | Carbono Orgánico | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 7,41 | 7,33 | 7,02 | 7,02 | 6,63 | 6,24 |
| MT2 | | 7,49 | 7,49 | 7,18 | 7,02 | 7,02 | 7,02 |
| M1 | IM | 0,94 | 0,94 | 1,09 | 1,09 | 0,47 | 0,47 |
| M4 | | 2,34 | 2,34 | 2,03 | 2,03 | 1,56 | 1,56 |
| M2 | IA | 1,25 | 1,25 | 2,65 | 2,65 | 6,24 | 6,24 |
| M3 | | 4,84 | 5,07 | 3,74 | 3,51 | 2,96 | 3,12 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

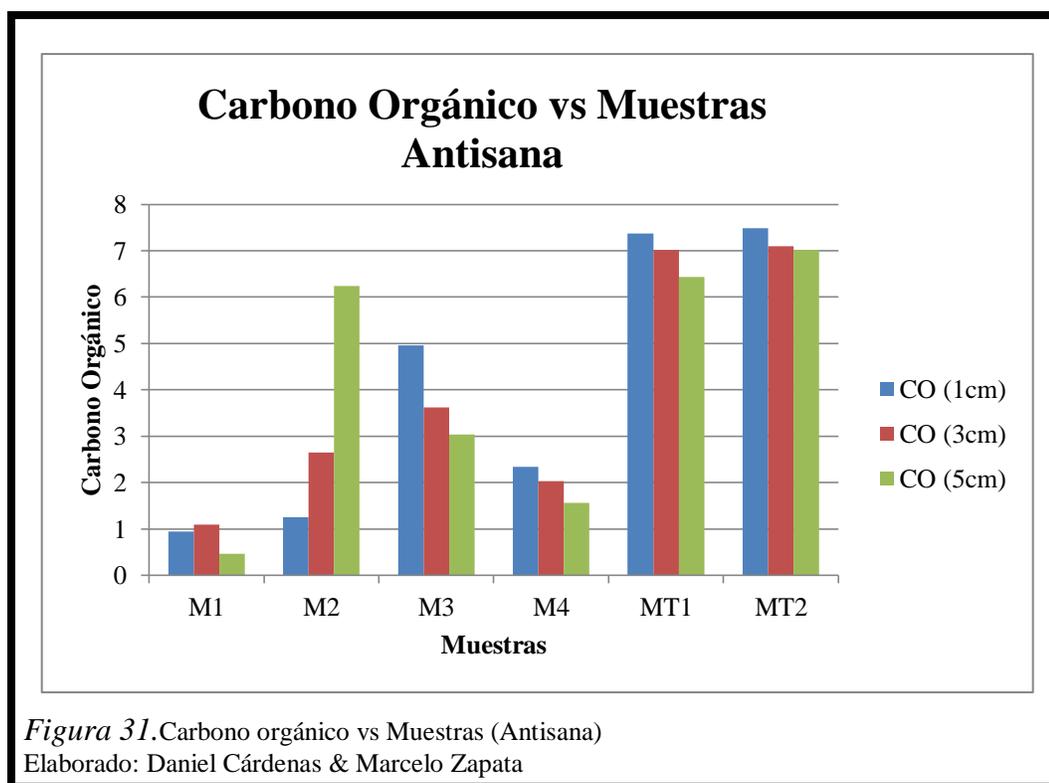


Tabla 49.
Análisis de varianza (ANOVA) Carbono orgánico (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|-----------------------|-------|---------|---------------|
| Tratamientos térmicos | 98,01 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,13 | 0,8937 | NS |
| Repeticiones | 2,05 | 0,1295 | NS |
| CV | 25,44 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla 49 mediante el método ANOVA, la fuente de variación más importante que alcanza un valor menor a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico. Siendo esta la que va a determinar el cambio del carbono orgánico en las muestras.

Tabla 50.
Análisis de la prueba de Tukey para carbono orgánico con fuente de variación tratamiento térmico (Antisana).

| Tratamientos térmicos | Medias | n | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| IM | 1,41 | 12 | 0,30 A |
| IA | 3,6 | 12 | 0,30 B |
| SQ | 7,07 | 12 | 0,30 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 50 se presenta las diferencias existentes entre las medias de carbono orgánico de las muestras de Antisana sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras, expuestas a los tratamientos térmicos (SQ, IM e IA), presentan una diferencia significativa entre ellas. Así, se tiene que existe una disminución del carbono orgánico dependiendo del tratamiento térmico aplicado, siendo los valores más bajos los observados en las muestras de IM, mientras que en las muestras de IA se tienen valores medios de carbono orgánico, al compararlos con las muestras SQ, respectivamente.

4.6.3 Análisis de resultados de carbono orgánico

Las medidas del porcentaje de carbono orgánico en los lugares de estudio Ungüi y Antisana tablas 43 y 48 disminuyen después de aplicar los tratamientos térmicos respectivos con relación a las muestras testigo, observándose que es en Antisana donde se produce una disminución mayor de carbono orgánico con respecto a Ungüi.

Esto se puede atribuir a la combustión de dicho parámetro presente en los suelos, y que según la investigación realizada por Carballas. F (2008), a temperaturas entre 200-300°C se produce la pérdida de un 85 % del carbono orgánico presente en el suelo.

Además según el tratamiento térmico aplicado a las muestras de cada uno de los lugares de estudio, el porcentaje de carbono disminuye o en ocasiones tiende a aumentar en el suelo, lo cual sucede con los incendios de media intensidad donde el nivel de carbono es menor en relación al porcentaje de carbono presente en las muestras sometidas a

incendios de alta intensidad, pudiendo atribuirse este incremento de carbono a la presencia de cenizas después de un incendio de alta intensidad y que según Caldaro (2000) se observa incrementos de carbono orgánico debido a la deposición de restos vegetales parcial o totalmente quemados. Además según Mataix & Guerrero (2007) es frecuente observar incrementos de carbono soluble tras el paso del fuego, procedente tanto de microorganismos muertos como por solubilización desde otros compuestos.

4.7 Nitrógeno

A continuación se presentan los valores obtenidos de nitrógeno en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.7.1 Nitrógeno Ungüi

Tabla 51.

Resultados de análisis de Nitrógeno (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Nitrógeno | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 0,37 | 0,37 | 0,28 | 0,28 | 0,26 | 0,26 |
| MT2 | | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,26 | 0,26 |
| M1 | IM | 0,17 | 0,15 | 0,18 | 0,27 | 0,04 | 0,07 |
| M2 | | 0,26 | 0,25 | 0,27 | 0,27 | 0,13 | 0,10 |
| M3 | IA | 0,34 | 0,35 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,18 |
| M4 | | 0,34 | 0,31 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,24 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

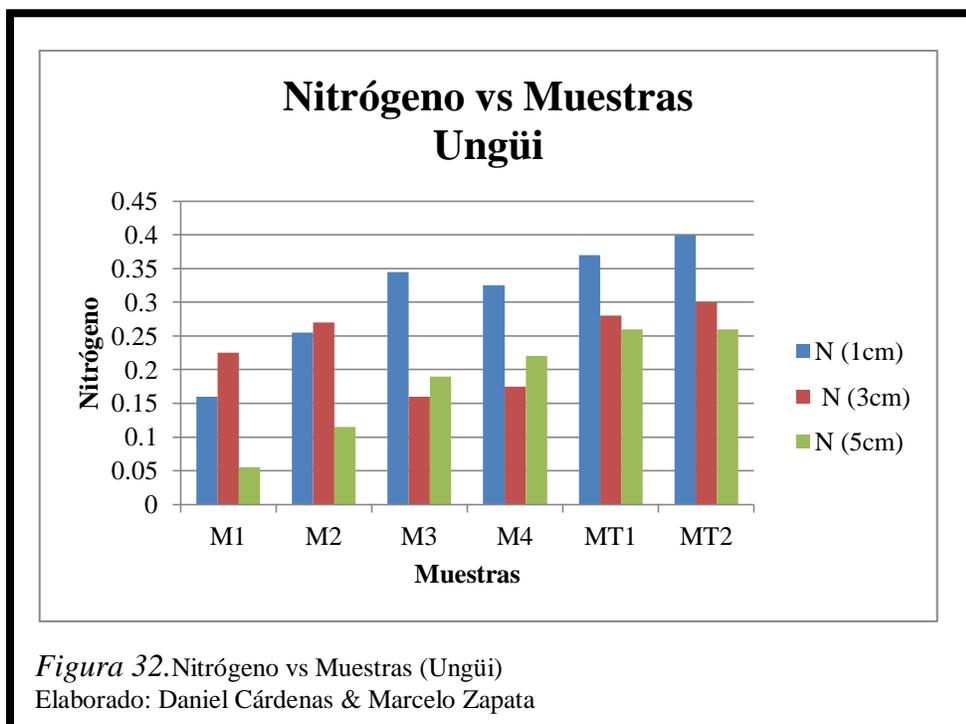


Tabla 52.
Análisis de varianza (ANOVA) Nitrógeno (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 0,05 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,05 | <0,0001 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 0,01 | <0,0001 | S |
| CV | 12 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 52 mediante el método ANOVA, las fuentes de variación que alcanza un valor menor a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico (SQ, IM e IA), la profundidad (1, 3, 5) cm y el tratamiento térmico*profundidad, siendo estas las que va a determinar el cambio de nitrógeno en las muestras.

Tabla 53.
Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | n | E.E. |
|---------------------|--------|----|--------|
| IM | 0,18 | 12 | 0,01 A |
| IA | 0,24 | 12 | 0,01 B |
| SQ | 0,31 | 12 | 0,01 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 53 se presenta las diferencias existentes entre las medias de nitrógeno de las muestras de Ungüi sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras SQ, IM e IA, tienen una diferencia significativa entre sí. Observándose que existe una disminución de Nitrógeno dependiendo del tratamiento térmico aplicado, teniéndose los valores más bajos de Nitrógeno en las muestras de IM, con respecto a las muestras, SQ e IA.

Tabla 54.
Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|--------|
| 5 | 0,18 | 12 | 0,01 A |
| 3 | 0,24 | 12 | 0,01 B |
| 1 | 0,31 | 12 | 0,01 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

A través de los datos presentados en la tabla 54, se puede observar que existe una diferencia significativa entre las profundidades (1,3 y 5) cm. Teniéndose que a mayor profundidad existe una disminución de Nitrógeno, siendo los valores más bajos de Nitrógeno, los presentados en la profundidad de 5 cm con respecto a las profundidades de 1 y 3 cm.

Tabla 55.

*Análisis de la prueba de Tukey para nitrógeno con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)*

| Tratamiento térmico | Profundidad | Medias | n | E.E. |
|---------------------|-------------|--------|----|----------|
| IM | 5 | 0,09 | 12 | 0,02 A |
| IA | 3 | 0,17 | 12 | 0,02 B |
| IA | 5 | 0,21 | 12 | 0,02 B C |
| IM | 1 | 0,21 | 12 | 0,02 B C |
| IM | 3 | 0,25 | 12 | 0,02 C D |
| SQ | 5 | 0,26 | 12 | 0,02 C D |
| SQ | 3 | 0,29 | 12 | 0,02 D E |
| IA | 3 | 0,34 | 12 | 0,02 E F |
| SQ | 1 | 0,39 | 12 | 0,02 F |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 55 se presentan los valores medios de nitrógeno relacionando las fuentes de variación tratamiento térmico* profundidad, teniendo que las diferencias más significativas se encuentran en las muestras de IM a 5 cm con respecto a las muestras SQ a 1cm, siendo en la simulación de IM a 5 cm donde se produjo una reducción mayor en el contenido de nitrógeno con respecto a las muestras SQ a 1cm.

4.7.2 Nitrógeno Artesana

Tabla 56.

Resultados de análisis de Nitrógeno (Artesana)

| Parámetro analizado | | Nitrógeno | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 0,64 | 0,63 | 0,61 | 0,61 | 0,57 | 0,54 |
| MT2 | | 0,65 | 0,65 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | 0,61 |
| M1 | IM | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,04 |
| M4 | | 0,20 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | 0,13 | 0,13 |
| M2 | IA | 0,11 | 0,11 | 0,23 | 0,23 | 0,54 | 0,54 |
| M3 | | 0,42 | 0,44 | 0,32 | 0,30 | 0,26 | 0,27 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

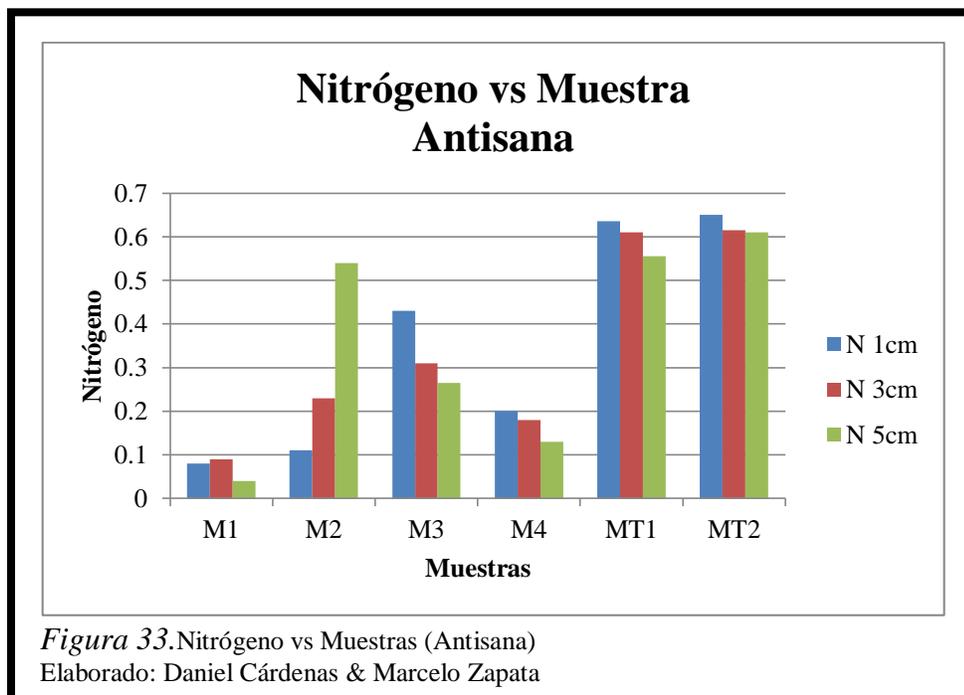


Tabla 57.
Análisis de varianza (ANOVA) Nitrógeno (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|-----------------------------------|---------|---------|---------------|
| Tratamientos térmicos | 0,74 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,00095 | 0,8898 | NS |
| Tratamientos térmicos*Profundidad | 0,01 | 0,1518 | NS |
| CV | 27,1 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 57 mediante el método ANOVA, la fuente de variación más importante que alcanza un valor menor a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico, siendo este el que va a determinar el cambio de nitrógeno en las muestras.

Tabla 58.
*Análisis de la prueba de Tukey para Nitrógeno con fuente de variación
 tratamiento térmico (Antisana)*

| Tratamientos térmicos | Medias | N | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| IM | 0,12 | 12 | 0,03 A |
| IA | 0,31 | 12 | 0,03 B |
| SQ | 0,61 | 12 | 0,03 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 58 se presenta las diferencias existentes entre las medias de nitrógeno de las muestras de Antisana sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras (SQ, IM e IA) presentan diferencias significativas entre sí. Teniendo que existe una disminución de Nitrógeno dependiendo del tratamiento térmico. Siendo los valores más bajos de Nitrógeno los encontrados en las muestras de IM, con respecto a las muestras de SQ e IA.

4.7.3 Análisis de resultados Nitrógeno

Las medidas del porcentaje de Nitrógeno en los lugares de estudio Ungüi y Antisana tabla 51 y 56 disminuye después de aplicar los distintos tratamientos térmicos, con relación a las muestras testigo, teniéndose que en Antisana es donde se produce una disminución más acentuada de nitrógeno con respecto a Ungüi después de aplicar los tratamientos térmicos respectivos a las distintas muestras.

Esto puede deberse a una combustión de las sustancias nitrogenadas orgánicas presentes en el suelo, además de la cantidad de materia orgánica existente en Antisana la cual es mayor con respecto a Ungüi y que según la investigación realizada por Carballas (2008), el nitrógeno total puede ser parcial o totalmente volatilizado a 200°C, por lo que en general disminuye después del incendio, en función de la intensidad alcanzada y al grado de combustión de la materia orgánica.

Además según el tratamiento térmico aplicado a las muestras de cada uno de los lugares de estudio, el porcentaje de nitrógeno disminuye o en ocasiones tiende a fijarse en el suelo, lo cual sucede con los incendios de media intensidad donde el nivel de nitrógeno es menor en relación al porcentaje de nitrógeno presente en las muestras sometidas a incendios de alta intensidad, pudiendo atribuirse este incremento de nitrógeno en las muestras sometidas a IA a la presencia de cenizas después de un incendio de alta intensidad y que según la investigación realizada por Varela (2007) se producen aumentos del N total debido a la deposición de material parcial o completamente incinerado.

4.8 Materia orgánica.

A continuación se presentan los valores obtenidos de materia orgánica en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.8.1 Materia orgánica Ungüi

Tabla 59.
Resultados de análisis de materia orgánica (Ungüi)

| Parámetro analizado | | Materia orgánica | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 7,42 | 7,42 | 5,67 | 5,67 | 5,13 | 5,13 |
| MT2 | | 8,10 | 8,10 | 6,07 | 6,07 | 5,13 | 5,13 |
| M1 | IM | 3,37 | 2,97 | 3,64 | 5,40 | 0,81 | 1,35 |
| M2 | | 5,13 | 4,99 | 5,40 | 5,40 | 2,70 | 2,02 |
| M3 | IA | 6,75 | 7,02 | 2,97 | 3,37 | 3,91 | 3,51 |
| M4 | | 6,07 | 6,14 | 3,37 | 3,91 | 4,32 | 4,72 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

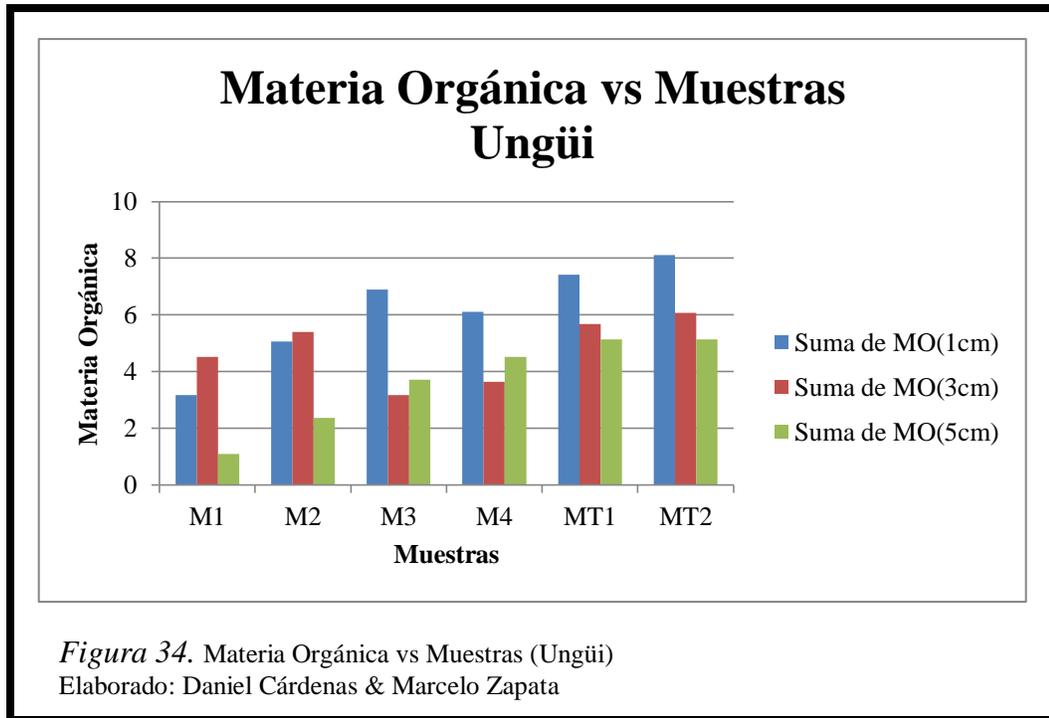


Tabla 60.
Análisis de varianza (ANOVA) Materia orgánica (Ungüi)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|---------------------------------|-------|---------|---------------|
| Tratamiento térmico | 22,03 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 18,96 | <0,0001 | S |
| Tratamiento térmico*Profundidad | 5,57 | <0,0001 | S |
| CV | 12,44 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 60 mediante el método ANOVA para el parámetro materia orgánica de las muestras Ungüi, presenta que las fuentes de variación más importantes que alcanzaron valores menores a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico, la profundidad y tratamiento térmico*profundidad siendo estas las que van a determinar el cambio de la materia orgánica en las muestras.

Tabla 61.
Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación tratamiento térmico (Ungüi)

| Tratamiento térmico | Medias | N | E.E. |
|---------------------|--------|----|--------|
| IM | 3,56 | 12 | 0,17 A |
| IA | 4,67 | 12 | 0,17 B |
| SQ | 6,25 | 12 | 0,17 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 61 se presenta las diferencias existentes entre las medias de materia orgánica de las muestras de Ungüi sometidas a los diferentes tratamientos térmicos, donde las muestras SQ, IM e IA presentan diferencias significativas entre sí, teniendo que existe una disminución de la materia orgánica dependiendo del tratamiento térmico aplicado. Se puede observar que los valores más bajos de carbono orgánico son los de las muestras de IM con respecto a las muestras de SQ e IA.

Tabla 62.
Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación profundidad (Ungüi)

| Profundidad | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|--------|
| 5 | 3,61 | 12 | 0,17 A |
| 3 | 4,75 | 12 | 0,17 B |
| 1 | 6,12 | 12 | 0,17 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 62 se muestran los valores medios de materia orgánica de todas las muestras a diferentes profundidades, teniendo que existe una diferencia significativa entre las medidas a 1,3 y 5, es así que, a medida que aumenta la profundidad, las muestras de Ungüi, tienden a presentar valores menores con respecto a las profundidades más superficiales, teniendo a 5 cm los valores más bajos de materia orgánica respecto a los valores de las profundidades de 1 y 3 cm.

Tabla 63.

*Análisis de la prueba de Tukey para materia orgánica con fuente de variación Tratamiento térmico*Profundidad (Ungüi)*

| Tratamiento térmico | Profundidad | Medias | n | E.E. |
|---------------------|-------------|--------|---|------------|
| IM | 5 | 1,60 | 4 | 0,30 A |
| IA | 3 | 3,41 | 4 | 0,30 B |
| IA | 5 | 4,12 | 4 | 0,30 B C |
| IM | 1 | 4,12 | 4 | 0,30 B C |
| IM | 3 | 4,96 | 4 | 0,30 C D |
| SQ | 5 | 5,13 | 4 | 0,30 C D E |
| SQ | 3 | 5,87 | 4 | 0,30 D E |
| IA | 1 | 6,50 | 4 | 0,30 E F |
| SQ | 1 | 7,76 | 4 | 0,30 F |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 63 se presentan los valores medios de materia orgánica, relacionando las fuentes de variación tratamiento térmico* profundidad, teniendo que las diferencia más significativas se encuentran en las muestras de IM a 5 cm con respecto a las muestras SQ a 1cm, siendo en la simulación de IM a 5 cm donde se produjo una reducción mayor en el contenido de materia orgánica con respecto a las muestras SQ a 1cm.

4.8.2 Materia orgánica Artesana

Tabla 64.

Resultados de análisis de materia orgánica (Artesana)

| Parámetro analizado | | Materia orgánica | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestras | Tratamiento térmico | Profundidad | | | | | |
| | | 1 cm | | 3 cm | | 5 cm | |
| MT1 | SQ | 12,82 | 12,68 | 12,14 | 12,14 | 11,47 | 10,79 |
| MT2 | | 12,95 | 12,95 | 12,41 | 12,14 | 12,14 | 12,14 |
| M1 | IM | 1,62 | 1,62 | 1,89 | 1,89 | 0,81 | 0,81 |
| M4 | | 4,04 | 4,05 | 3,51 | 3,51 | 2,70 | 2,70 |
| M2 | IA | 2,16 | 2,16 | 4,59 | 4,59 | 10,79 | 10,79 |
| M3 | | 8,36 | 8,77 | 6,48 | 6,07 | 5,13 | 5,40 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

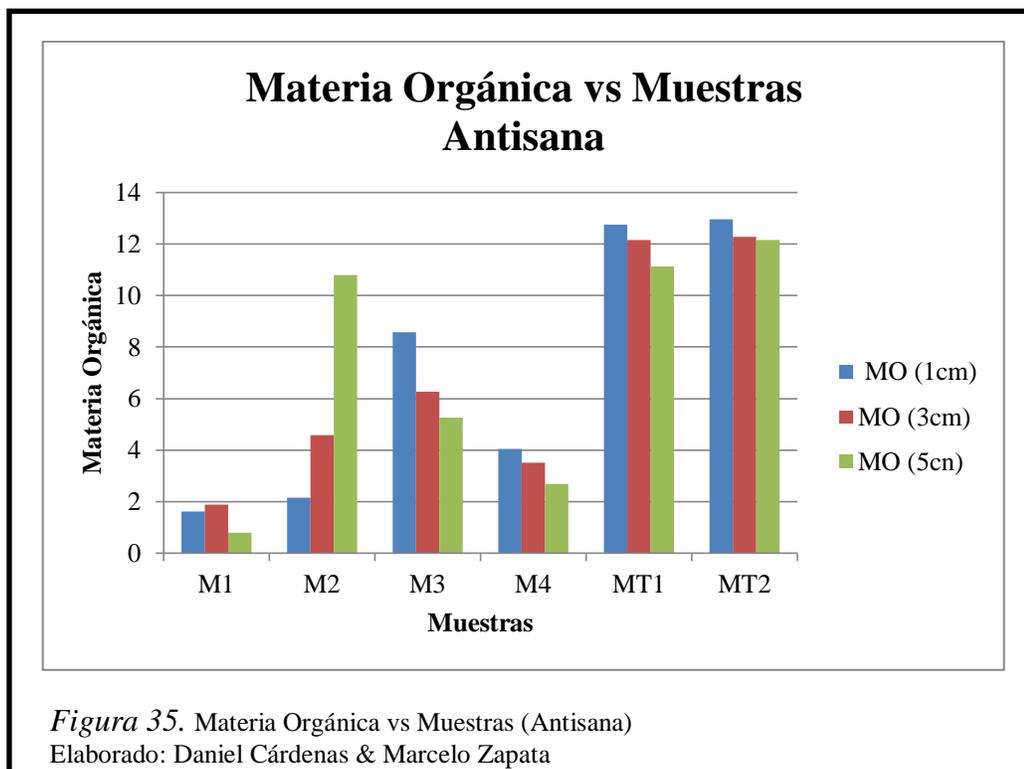


Tabla 65.

Análisis del modelo ANOVA para materia orgánica (Antisana)

| F.V. | CM | p-valor | Significancia |
|------------------------------------|--------|---------|---------------|
| Tratamientos térmicos | 292,68 | <0,0001 | S |
| Profundidad | 0,40 | 0,8852 | NS |
| Tratamientos térmicos* Profundidad | 5,84 | 0,1595 | NS |
| CV | 25,8 | | |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Teniendo en cuenta los valores presentados por el análisis realizado en la tabla 65 mediante el método ANOVA, la fuente de variación más importante que alcanza un valor menor a 0,05 en “p-valor” es el tratamiento térmico, siendo este el que va a determinar el cambio de materia orgánica en las muestras.

Tabla 66.
*Análisis prueba de Tukey de materia orgánica con fuente de variación
 tratamiento térmico (Antisana)*

| Tratamientos térmicos | Medias | N | E.E. |
|-----------------------|--------|----|--------|
| IM | 2,43 | 12 | 0,52 A |
| IA | 6,27 | 12 | 0,52 B |
| SQ | 12,23 | 12 | 0,52 C |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 66 se presenta las diferencias existentes entre las medias de materia orgánica de las muestras de Antisana sometidas a los diferentes tratamientos térmicos. Es así que existen diferencias significativas entre las muestras SQ, IM e IA, teniendo que existe una disminución de la materia orgánica dependiendo del tratamiento térmico aplicado. Presentando los valores más bajos de materia orgánica en las muestras de IM con respecto a las muestras SQ e IA.

4.8.3 Análisis de resultados de materia orgánica

Las medidas de la materia orgánica de las muestras en los lugares de estudio presentadas en las tablas 59 y 64, muestran una disminución en los valores de esta después de aplicar los diferentes tratamientos térmicos.

Se observó que la disminución más significativa de las muestras de los dos lugares de estudio, se presenta en los tratamientos térmicos de IM, esto podría ser debido a que la mayor cantidad de materia orgánica se presenta en el horizonte más superficial del suelo, la cual está en mayor contacto con la fuente de calor y que según Varela (2007), pueden producirse pérdidas de materia orgánica a temperaturas menores de 100°C y a temperaturas mayores de 200°C se pierden los constituyentes volátiles.

Además se observa que en Antisana es en donde se encuentra una mayor cantidad de materia orgánica en las muestras testigo con respecto a las muestras testigo de Ungüi, esto podría atribuirse a las bajas temperaturas presentes en la zona, las cuales podrían ocasionar una lenta descomposición de la materia orgánica en los suelos de páramo. Y

según (Sánchez, Ruiz, & Ríos, 2005), el contenido y composición de la MO, así como la actividad microbiológica, están influenciados por la altitud, la cual está asociada a diferencias en la vegetación, temperatura, humedad, precipitaciones y características de estos suelos.

4.9 Textura.

A continuación se presentan los valores obtenidos de textura en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

4.9.1 Textura Ungüi

Tabla 67.
Resultados de la textura (Ungüi)

| Muestra | Tt | Prof | % Arena (2-0.05 mm) | %Arcilla (0.05-0.002 mm) | %Limo (< 0.002 mm) | Tipo | Característica |
|-----------|----|------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|
| Testigo 1 | SQ | 1 | 80 | 6 | 14 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 3 | 76 | 14 | 10 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 5 | 80 | 10 | 10 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Testigo 2 | | 1 | 82 | 6 | 12 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 3 | 76 | 14 | 10 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 5 | 80 | 10 | 10 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Muestra 1 | IM | 1 | 74 | 8 | 18 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 3 | 66 | 20 | 14 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 5 | 72 | 10 | 18 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Muestra 2 | | 1 | 78 | 2 | 20 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 3 | 70 | 16 | 14 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 5 | 76 | 4 | 20 | Arenoso | textura gruesa |

| | | | | | | Franco | |
|-----------|----|---|----|----|----|----------------|------------------------------|
| Muestra 3 | IA | 1 | 68 | 2 | 30 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 3 | 58 | 14 | 28 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 5 | 62 | 8 | 30 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| Muestra 4 | | 1 | 68 | 3 | 29 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 3 | 54 | 16 | 30 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |
| | | 5 | 58 | 10 | 32 | Franco Arenoso | textura moderadamente gruesa |

Nota. Tt= Tratamiento térmico, Prof= Profundidad.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En general, con respecto a la textura en Ungüi se puede apreciar que existe una disminución del porcentaje de arena, un aumento en el porcentaje de arcilla y limo cambiando el tipo de suelo de arenoso franco de las muestras testigos a franco arenoso en la mayoría de los suelos a los que se aplicó los respectivos tratamientos térmicos.

4.9.2 Textura Antisana

Tabla 68.
Resultados de la textura (Antisana)

| Muestra | Tt | Prof | % Arena (2-0.05 mm) | % Arcilla (0.05-0.002 mm) | % Limo (< 0.002 mm) | Tipo | Característica |
|-----------|----|------|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Testigo 1 | SQ | 1 | 88 | 2 | 10 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 3 | 86 | 2 | 12 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 5 | 82 | 4 | 14 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Testigo 2 | | 1 | 86 | 6 | 8 | Arenoso | textura gruesa |

| | | | | | | | |
|-----------|----|---|----|---|----|----------------|----------------|
| | | 3 | 88 | 2 | 10 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 5 | 84 | 2 | 14 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Muestra 1 | IM | 1 | 90 | 2 | 8 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 3 | 86 | 2 | 12 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 5 | 84 | 2 | 14 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Muestra 4 | IM | 1 | 90 | 4 | 6 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 3 | 86 | 4 | 10 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 5 | 82 | 2 | 16 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| Muestra 2 | IA | 1 | 86 | 2 | 12 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 3 | 82 | 2 | 16 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 5 | 86 | 2 | 12 | Arenoso | textura gruesa |
| Muestra 3 | IA | 1 | 88 | 2 | 10 | Arenoso | textura gruesa |
| | | 3 | 84 | 2 | 14 | Arenoso Franco | textura gruesa |
| | | 5 | 86 | 1 | 13 | Arenoso | textura gruesa |

Nota. Tt= Tratamiento térmico, Prof= Profundidad.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

Acorde a la tabla 68 en Antisana existe un aumento no significativo del porcentaje de arena, arcilla y limo, el cual se presenta en las muestras sometidas a incendios de IM. En cuanto a las muestras de IA, existe una disminución no significativa en el porcentaje de arena en comparación con la muestras testigos.

4.9.3 Análisis de resultados textura

Como muestran los datos presentados en las tablas 67 y 68 de los lugares de estudio Ungüi y Antisana respectivamente, existen ligeros cambios en los porcentajes de limo, arcilla y arena, estadísticamente no representativos, sin embargo con ayuda de la tabla 2

Clasificación de los suelos según su textura USDA, se puede observar que existe un cambio de textura en las muestras de Ungüi de arenoso franco de las muestras testigo a franco arenoso en la muestras sometidas a los distintos tratamientos térmicos.

Esto podría atribuirse a la agregación de partículas finas, según (Ubeda & Sala, 1996, pág. 562) la textura del suelo después de incendios de intensidad media como alta, experimentan una disminución de la fracción de arena de un 8% y un aumento tanto de los limos como de las arcillas del 5% y el 3% respectivamente.

Con respecto a las muestras de Antisana se puede apreciar que existe un pequeño aumento en el tamaño de partícula la cual no afecta en el tipo de textura permaneciendo como, textura arenoso franco, esto podría producirse según Betremieux (1960), la textura del suelo suele incrementar la fracción de arena, debido a la agregación de partículas finas, gracias al hierro y al aluminio fundidos por la temperatura.

4.10 Repelencia

A continuación se presentan los valores obtenidos de repelencia en cada una de las muestras sometidas a tratamientos térmicos de alta y media intensidad de cada una de las zonas de estudio.

Tabla 69.
Grado de Repelencia de las Muestras

| Lugar | Muestra | Intensidad | Cm | Clase de Repelencia | Grado de Repelencia |
|----------|-----------|------------|----|---------------------|-----------------------------|
| Antisana | Testigo 1 | SQ | 1 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | | | 3 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 5 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | Testigo 2 | | 1 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 3 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 5 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | Muestra 1 | IM | 1 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 3 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | | | 5 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | Muestra 4 | | 1 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 3 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |
| | | | 5 | 7 | Extremadamente hidrofóbico |

| | | | | | |
|-------|-----------|----|---|---|-----------------------------|
| | Muestra 2 | IA | 1 | 3 | Ligeramente hidrofóbico |
| | | | 3 | 4 | Moderadamente hidrofóbico |
| | | | 5 | 3 | Ligeramente hidrofóbico |
| | Muestra 3 | | 1 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 3 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 5 | 1 | Muy hidrofílico |
| Ungüi | Testigo 1 | SQ | 1 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 3 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 5 | 1 | Muy hidrofílico |
| | Testigo 2 | | 1 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 3 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 5 | 2 | Hidrofílico |
| | Muestra 1 | IM | 1 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | | | 3 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | | | 5 | 4 | Moderadamente hidrofóbico |
| | Muestra 2 | | 1 | 3 | Ligeramente hidrofóbico |
| | | | 3 | 3 | Ligeramente hidrofóbico |
| | | | 5 | 2 | Hidrofílico |
| | Muestra 3 | IA | 1 | 5 | Fuertemente hidrofóbico |
| | | | 3 | 6 | Muy fuertemente hidrofóbico |
| | | | 5 | 4 | Moderadamente hidrofóbico |
| | Muestra 4 | | 1 | 1 | Muy hidrofílico |
| | | | 3 | 2 | Hidrofílico |
| | | | 5 | 3 | Ligeramente hidrofóbico |

Nota. Cm= centímetros

Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

La tabla 69 presenta el grado de repelencia de cada una de las muestras sometidas al análisis del laboratorio, en la cual podemos observar que las muestras de intensidad media pertenecientes al Antisana son en su mayoría extremadamente hidrofóbicos, coincidiendo con las muestras testigo, al contrario, las muestras de intensidad alta varían desde muy hidrofílico hasta ligeramente hidrofóbico.

Mientras que en Ungüi se presentan muestras testigo muy hidrofílicas, dependiendo de la temperatura alcanzada en cada muestra se puede observar que en incendios de intensidad media se tiene un nivel muy hidrofóbico lo que quiere decir que la repelencia aumenta, mientras que en las muestras sometidas a la simulación de incendios de alta

intensidad la hidrofobia disminuye ligeramente al compararla con la hidrofobia de las muestras sometidas a incendios de intensidad media.

La situación presentada en las zonas de estudio Antisana y Ungüi puede deberse a los diferentes tratamientos térmicos a los que fueron sometidos y que según DeBano, L. (2000) bajo temperaturas de 270° C se acentúa la formación de una capa repelente al agua, mientras que a temperaturas cercanas a 400°C se destruyen la mayoría de los compuestos hidrófobos.

4.11 Correlación de los parámetros mediante el método de Pearson.

A través de la correlación de Pearson se puede establecer el comportamiento de las variables de 2 en 2, es decir, la relación existente entre los distintos parámetros analizados. Para ello se presenta valores de -1 (correlación negativa muy grande y perfecta) hasta 1 (Correlación positiva muy grande y perfecta),

4.11.1 Correlación parámetros Ungüi

Tabla 70.

Correlación de los parámetros estudiados (Ungüi)

| PARÁMETROS | ph | C.E | Densidad | Humedad | Nitrógeno | C.O | M.O. |
|------------------|-------|-------|----------|---------|-----------|-----|------|
| pH | 1 | | | | | | |
| C.E | 0,36 | 1 | | | | | |
| Densidad | -0,18 | -0,50 | 1 | | | | |
| Humedad | -0,15 | -0,44 | 0,77 | 1 | | | |
| Nitrógeno | 0,23 | 0,01 | 0,16 | 0,52 | 1 | | |
| C.O | 0,23 | 0,01 | 0,16 | 0,53 | 1 | 1 | |
| M.O. | 0,20 | -0,01 | 0,16 | 0,54 | 1 | 1 | 1 |

Nota. C.E= Conductividad eléctrica, C.O= Carbono orgánico, M.O.= Materia Orgánica.
Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 70 se presenta las correlaciones entre los parámetros estudiados donde los valores más altos se encuentran en las correlaciones, densidad - conductividad eléctrica (-0,50), humedad – densidad (0,77) y materia orgánica – humedad (0,54), teniendo correlaciones: negativa alta, positiva muy alta y positiva alta, respectivamente.

Debemos aclarar que el análisis de correlación, toma todos los datos de las muestras de todos los tratamientos térmicos, es decir, presenta una correlación general, no se presenta las correlaciones diferenciada en tratamientos térmicos. Los mayores cambios se presentan a 1 cm de profundidad y a tratamiento térmico de IM.

Densidad - conductividad eléctrica (-0,50), si la densidad disminuye la conductividad eléctrica aumenta o viceversa, esto puede deberse a la incorporación de sales solubles procedente de la combustión de la materia orgánica, además, según Simón, Peralta, & Costa (2013) los suelos con mayor porcentaje de partículas finas tienen un mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, por lo que permiten que la conductividad sea mayor, comparado con los suelos que tiene mayor contenido de partículas gruesas. Visualizar anexo 4 figura 36.

Para humedad – densidad (0,77), el motivo por el cual presenta positivismo, es por los datos de las muestras SQ e IA, donde se observa un aumento de densidad, además, a mayor profundidad la pérdida de humedad es menor y la densidad tiende a no presentar cambios significativos con las muestras SQ.

En la regresión lineal simple R^2 , se observa que poseen correlación negativa en las muestras de IM donde a medida que disminuye la humedad la densidad tiende a aumentar, es decir, la humedad es responsable del cambio en los valores de densidad en un 17%. Observar el anexo 4, figura 37.

Materia orgánica – humedad (0,54), correlación positiva alta, muestra que a medida que la materia orgánica es consumida por el calor la humedad disminuye, es decir, la cantidad de materia orgánica presente en los suelos es un factor determinante para el contenido de humedad y según (Salcedo, y otros, 2007) los aportes de materiales orgánicos incrementarán el tamaño y la estabilidad de agregados, fomentarán una mayor actividad microbiana y favorecerán la fertilidad física del suelo, en general; a la vez, se modificará la hidrodinámica y la capacidad del suelo para almacenar agua disponible. Visualizar anexo 4, figura 38.

4.11.2 Correlación parámetros Antisana

Tabla 71.
Correlación de los parámetros estudiados (Antisana)

| PARÁMETROS | Ph | C.E | Densidad | Humedad | Nitrógeno | C.O | M.O. |
|------------------|-------|-------|----------|---------|-----------|-----|------|
| pH | 1 | | | | | | |
| C.E | 0,27 | 1 | | | | | |
| Densidad | 0,78 | -0,06 | 1 | | | | |
| Humedad | -0,28 | -0,20 | -0,20 | 1 | | | |
| Nitrógeno | -0,27 | -0,42 | -0,08 | 0,27 | 1 | | |
| C.O | -0,28 | -0,42 | -0,08 | 0,28 | 1 | 1 | |
| M.O. | -0,28 | -0,42 | -0,08 | 0,28 | 1 | 1 | 1 |

Nota. Elaborado por: Daniel Cárdenas & Marcelo Zapata.

En la tabla 71 se presentan los valores de las correlaciones de los parámetros analizados, de igual manera el análisis es general y los cambios más significativos se presentan a 1cm de profundidad y en los tratamientos de IM. Se analiza los mismo parámetros de Ungüi con la finalidad de saber, cuál es el comportamiento de las muestras de Antisana.

Densidad - conductividad eléctrica (-0,06), lo cual es una correlación negativa baja, no significativa. En las muestras de IM, se observa un aumento de la conductividad eléctrica, pero la densidad no sufre un aumento significativo en comparación con las SQ, teniendo la densidad una incidencia en la variación de los valores de conductividad del 1,25%, lo cual el aumento de la conductividad eléctrica se debe en mayor parte a la combustión de la materia orgánica. Visualizar anexo 4, figura39.

En el caso humedad – densidad (-0,20), se presenta una correlación negativa moderada, donde si existe una disminución de la humedad la densidad tiende a aumentar, lo cual se puede apreciar en las muestras sometidas a tratamientos de IA, se debe mencionar que la disminución en la humedad no es significativa, y según Betremieux (1960), la textura del suelo suele incrementar la fracción de arena, debido a la agregación de partículas finas, gracias al hierro y al aluminio fundidos por la temperatura. Lo cual podría contribuir al aumento de la densidad. Visualizar anexo 4, figura 40.

Materia orgánica – humedad (0,28), presenta una correlación positiva moderada, lo cual indica que a medida que la materia orgánica disminuye la humedad se ve afectada, los datos más significativos de disminución de la materia orgánica se producen en las muestras sometidas a IM, debemos recordar que la disminución de la humedad en las muestras no es significativa y según (Salcedo, y otros, 2007) los aportes de materiales orgánicos incrementarán el tamaño y la estabilidad de agregados, fomentando la capacidad del suelo para almacenar agua disponible. Visualizar anexo 4, figura 41.

CONCLUSIONES

- En el proceso de calentamiento realizado se llegó a determinar que en ambos suelos evaluados, la transmisión de calor se da principalmente en la capa superficial, es decir al primer centímetro de profundidad ocurrieron cambios de temperatura que llegaron a simular incendios de media y de alta intensidad.
- El papel de la vegetación en este estudio permite valorar la intensidad que alcanza un incendio de acuerdo a la percepción visual de los restos vegetales que se consumen, es decir, en la simulación de incendios de media intensidad, el color predominante de los restos vegetales existentes sobre el suelo es de color negro y en la simulación realizada para incendios de alta intensidad, existe un consumo total de la vegetación quedando solamente un residuo de ceniza de color blanco.
- Con la investigación se demuestra que los suelos de las dos zonas de estudio, Ungüi y Antisana, presentan cambios en sus propiedades físico-químicas evaluadas después de aplicar los tratamientos térmicos de intensidad media e intensidad alta. Los cambios más significativos se presentan en su gran mayoría en aquellas muestras sometidas a incendios de intensidad media y a profundidades de 1 cm como es el caso de la materia orgánica, carbono, nitrógeno y conductividad eléctrica.
- Las características iniciales de los suelos influyen en el comportamiento que presenten al aplicar los tratamientos térmicos. En particular, los parámetros más distantes entre las muestras sin quemar fueron materia orgánica (Ungüi 6.25% y Antisana 12,23%), Humedad (Ungüi 15,43 % y Antisana 37 %).
- En ambos suelos los tratamientos de IM son los que provocan una mayor pérdida de materia orgánica, ésta pérdida, presenta una relación directa con el comportamiento de la conductividad, notándose un aumento en ella, esta relación

estaría en función de la influencia que tienen las cenizas sobre parámetros como la M.O.

- La clase textural para las muestras de Ungüi sometidas a tratamientos térmicos de IM , no presentan variaciones con respecto a las muestras SQ manteniéndose como suelos arenosos. Las muestras expuestas a incendios de IA presentan cambios en su clase textural pasando de suelos arenosos a suelos francos. Mientras que en las muestras de Antisana no se presentaron cambios texturales con respecto a las muestras SQ, después de aplicar los tratamientos térmicos IM e IA manteniéndose como suelos arenosos.
- En el caso de la repelencia, se observó que el comportamiento de este parámetro es alterado por la intensidad alcanzada por el incendio, y depende del grado de repelencia inicial del suelo. Específicamente, los suelos de Ungüi, antes de ser sometidos a calentamiento mostraron una alta hidrofiliidad, en incendios de media presentaron rangos de ligeramente hidrófobo a muy fuertemente hidrófobo, y en incendios de alta presentaron rangos de fuertemente hidrófobo a hidrofílico; en los suelos de Antisana antes de ser sometidos a calentamiento mostraron un grado de repelencia extremadamente hidrofóbico, en incendios de media presentan rangos de extremadamente hidrófobo a muy fuertemente hidrófobo, y en incendios de alta presentaron grados de repelencia muy hidrofílicos.

LISTA DE REFERENCIA

- Almorox, J., López, F., & Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. MURCIA: EDITUM.
- Cancelo, G. J., Rial, R. M., & Díaz, F. F. (29 de Enero de 2013). *Effects of fire on cation content in water: a laboratory simulation study*. Obtenido de International Journal of Wildland Fire: <http://www.publish.csiro.au/?paper=WF12178>
- Carballas, F. (2004). *Los incendios forestales*. GALICIA: Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia.
- Cerdà, A., & Mataix, S. (2010). *Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales*. VALENCIA: ISBN.
- Cueva, P. I. (2009). *Propuesta de desarrollo turístico para la laguna de Muertepungo en la zona alta de amortiguamiento de la reserva ecológica Antisana*. QUITO: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.
- Cunalata, I. C. (2012). *Cuantificación de carbono total almacenado en suelos de páramos en las comunidades Shobol-Chimborazo, San Juan Chimborazo*. RIOBAMBA: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- FUEGORED. (Mayo de 2007). *Los incendios y el suelo*. Obtenido de El fuego: ¿Factor ecológico natural o problema medioambiental?: <http://fuegored.weebly.com/los-incendios-y-el-suelo--wildfires-and-soil.html>
- Fundación Antisana. (2002). *Plan de manejo de la reserva ecológica Antisana*. QUITO: MINISTERIO DEL AMBIENTE.
- GAD Parroquia de Lloa. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Lloa*. QUITO: GAD LLoa.
- Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP). (2000). *Los suelos del páramo*. QUITO: Abya Yala.
- Herrera, S. G., Játiva, A., Silvia, Y., & Jaramillo, S. C. (2010). *Elaboración participativa del plan de manejo de los páramos de la comunidad Eugenio Espejo de Cajas*. OTAVALO: Universidad Técnica del Norte.
- Játiva, A. W. (2013). *Incidencia de los riesgos naturales y antrópicos que ocasionan los incendios forestales, en el Distrito Metropolitano de Quito*. QUITO: ESPE.

- Mataix, J., & Guerrero, C. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas*. ALICANTE: Universidad Miguel Hernández.
- Mataix, S. J. (1999). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. ALICANTE: Universidad de Alicante.
- Narváez, N. E. (2012). *Incendios forestales en el distrito metropolitano de Quito: Conocimiento e intervención pública del riesgo*. Letras Verdes , 27-52.
- Pascual, A. (2011). *Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo*. SEVILLA: Universidad de Sevilla.
- Reyes de Celis, Jordán, A., & Zavala, L. (2013). *Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo*. Grandes Incêndios Florestais, Erosão, Degradação e Medidas de Recuperação dos Solos , 145-160.
- Salcedo, P. E., Galvis, S. A., Hernández, M. T., Rodríguez, M. R., Zamora, N. F., Bugarin, M. R., y otros. (2007). *La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo*. Recuperado el 2005, de Redalyc.
- Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. M. (Diciembre de 2005). *Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua*. Recuperado el 25, de Scielo.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (03 de Marzo de 2013). *Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes*. Recuperado el 2015, de Scielo Argentina.
- SNGR. (2012). http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Informe_de_Gestion_2012.pdf. Recuperado el Agosto de 2014, de http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Informe_de_Gestion_2012.pdf.
- Ubeda, X., & Sala, M. (1996). *Cambios en la física del suelo e incremento de la escorrentía y la erosión tras un incendio forestal*. IV Reunión de Geomorfología, 559-572.
- 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. (01 de 10 de 2013). *Monitoreo de las alteraciones físico-químicas y cuantificación de carbono en parcelas de suelo afectada por fuego controlado.*

Obtenido de CIVABI.

Varela, M. E. (2007). *Efectos de los incendios forestales en la degradación física de los suelos de Galicia.* GALICIA: Universidad de Vigo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Agregados:** partículas individuales del suelo (arena, limo y arcilla) que se agrupan, formando partículas de mayor tamaño.
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** habilidad de los nutrientes cargados positivamente (o cationes) de adherirse a las partículas de tierra húmeda en general y de desprenderse posteriormente para beneficiar su captura por parte de las raíces, por lo que se considera como un índice de fertilidad del sitio, por tanto es una medida de fertilidad del suelo. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.
- **Combustión:** reacción entre el oxígeno y un material combustible que, por desprender energía, suele causar incandescencia o llama.
- **Conductividad eléctrica:** es la medida de la capacidad de un material para dejar pasar o dejar circular libremente la corriente eléctrica.
- **Densidad aparente:** la masa del suelo seco por unidad de volumen aparente. El volumen aparente se determina antes de secar a peso constante a 105 °C.
- **Edáfica, co:** propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato que influye sobre la biota del suelo.
- **pH:** es la unidad de medida de la acidez o basicidad
- **Materia Orgánica:** es materia compuesta de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos
- **Hidrofobicidad:** un material sólido (incluyendo el suelo) se considera hidrofóbico o repelente al agua cuando entre la superficie del agua (interfase

agua-aire) y la superficie del sólido (interfase agua-sólido) se forma un ángulo de contacto mayor o igual a 90°.

- **Hojarasca:** capa de la superficie del suelo forestal formada por desechos orgánicos inertes de trozos de plantas (por debajo de un cierto diámetro) como hojas, corteza, ramillas, flores, frutos y otras sustancias vegetales, que han caído recientemente o que están ligeramente descompuestas.
- **Nutrientes:** son elementos químicos esenciales para la vida. Por ejemplo el nitrógeno, el carbono, el oxígeno, el azufre, el fósforo el magnesio y el potasio.
- **Textura:** proporción relativa de los varios grupos de tamaños de las partículas del suelo. Característica del suelo definida por el tamaño de las partículas que los componen (arena, limo, arcilla).
- **Volatilización:** es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado sólido al gaseoso, por aumento de la temperatura, sin pasar por el estado líquido intermedio.
- **Termocuplas:** son sensores de temperatura. Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los mili voltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia» (efecto Seebeck).

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de la muestras de Ungüi antes y después de la simulación de incendios forestales

Incendios de intensidad media



A. Muestra antes de la simulación de IM.



B. Muestra después de la simulación de IM.

Incendios de intensidad alta



C. Muestra antes de la simulación de IA.



D. Muestra después de la simulación de IA.

Anexo 2. Fotografías de la muestras Antisana antes y después de la simulación de incendios forestales

Incendios de intensidad media



E. Muestra antes de la simulación de IM.



F. Muestra después de la simulación de IM.

Incendios de intensidad alta



G. Muestra antes de la simulación de IA.



H. Muestra después de la simulación de IA.

Anexo 3. Análisis de laboratorio

pH



A. Lectura de conductividad eléctrica.

Conductividad eléctrica



B. Lectura de conductividad eléctrica.

Densidad



C. Peso del picnómetro para determinación de densidad.

Carbono orgánico



D. Preparación de las muestras para la titulación.



E. Preparación de las muestras para la titulación, ($K_2Cr_2O_7$).



F. Titulación de las muestras.



G. Muestras después de la titulación.

Textura



H. Preparación de muestras (Agitación).



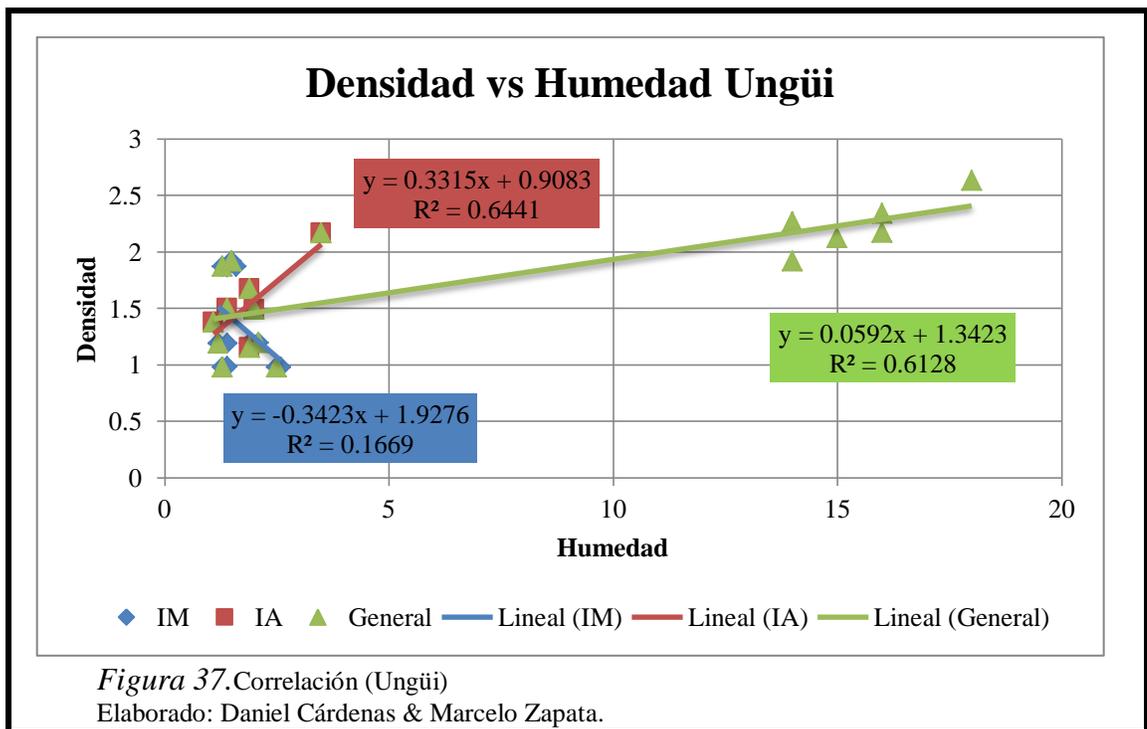
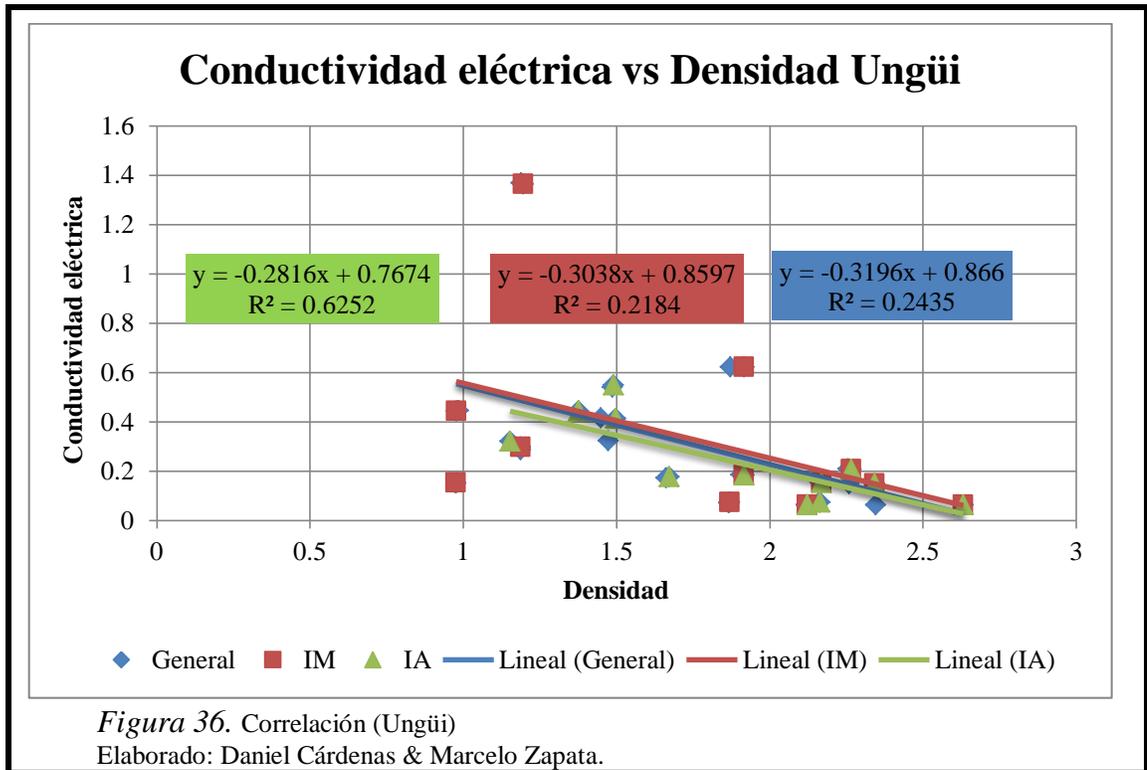
I. Muestras listas para lectura.

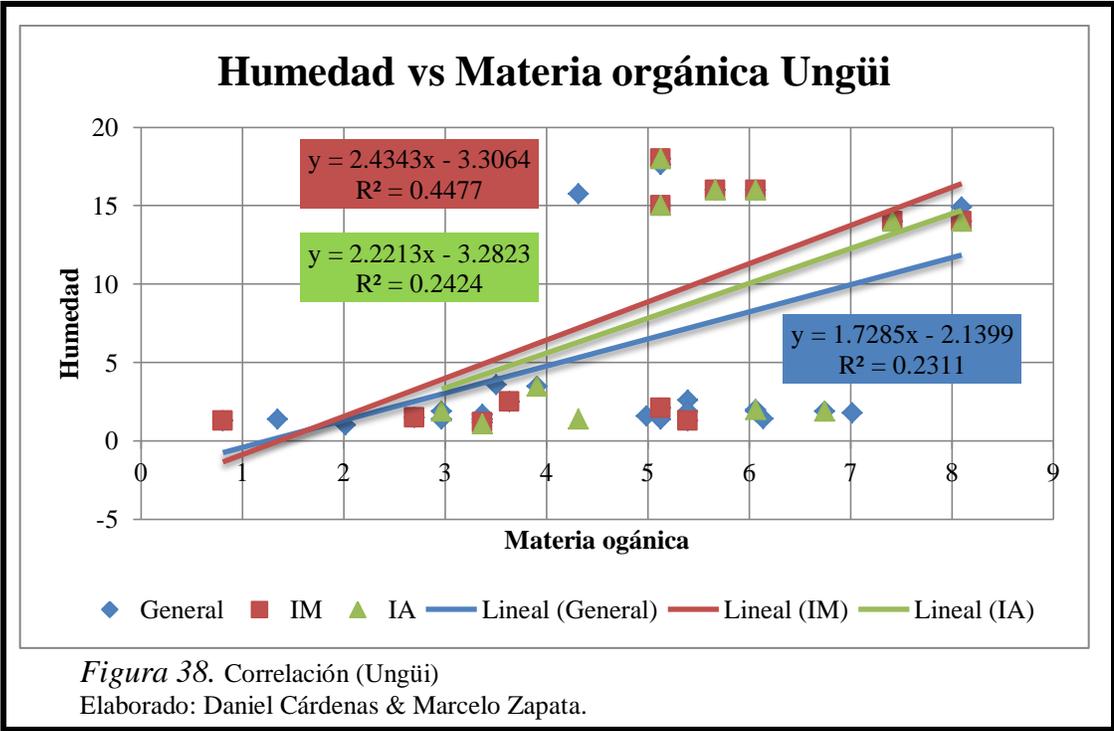


J. Lectura de las muestras.

Anexo 4. Correlaciones R²

Correlaciones Ungüi





Correlaciones Antisana

