

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

DINÁMICA NUTRICIONAL DEL SUELO EN UN SISTEMA  
AGROFORESTAL TAUNGYA, BAJO LA TÉCNICA DE TALA Y  
QUEMA EN EL CEIACHI, CORREGIMIENTO DE CHIRIQUÍ

MOISÉS DE LEÓN R. 7-710-18

CHIRIQUÍ, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2018

DINÁMICA NUTRICIONAL DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL TAUNGYA, BAJO LA TÉCNICA DE TALA Y QUEMA EN EL CEIACHI, CORREGIMIENTO DE CHIRIQUÍ.

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA AGRONÓMICA EN CULTIVOS TROPICALES.

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

Dr. FRANCISCO MORA (PhD)

\_\_\_\_\_  
DIRECTOR

Dr. JUAN OSORIO (PhD)

\_\_\_\_\_  
ASESOR

ING. NOÉ AGUILAR (MSc)

\_\_\_\_\_  
ASESOR

CHIRIQUÍ, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2018

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de investigación a Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida; por cada triunfo y derrota que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre, por ser la persona que me brindó su apoyo en los momentos difíciles, a mi papá, por brindarme su ayuda y por permitirme culminar mis estudios. A los profesores involucrados de alguna u otra forma en mi formación profesional. A mis compañeros que siempre estuvieron allí para lo que los necesitara y a mis amigos que siempre confiaron en mí.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradezco a Dios por guiarme a lo largo de mi carrera y por permitirme llegar hasta aquí. Por ser mi fuerza y fortaleza en los momentos en los que sentía que ya no podía más; además por brindarme muchos momentos de aprendizajes y felicidad.

Agradezco a todos los profesores involucrados en mi formación académica, principalmente a los profesores Javier Almillategui y Carl Williams; por compartirme sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A los involucrados en mi tesis de grado, principalmente a mi director: Dr. Francisco Mora que estuvo pendiente de mí trabajo en todo momento a pesar de estar en la ciudad de Panamá. El Dr. Juan Osorio por la confianza en la realización de este estudio, además de ser mi guía en la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí.

También agradezco a mi familia, sobre todo a mis padres Moisés y Aracelis, que siempre confiaron en mí, a mi hermana Yelena que me animaba en los momentos difíciles.

A los trabajadores jubilados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por el apoyo que me brindaron cuidando la parcela donde se realizó el estudio.

A Karla Patricia De León, por apoyarme en todo momento con su motivación.

A Kristen Gallardo, por su ayuda al momento de la revisión final para la posterior impresión de este documento.

A mis compañeros: Abdiel, Rigoberto, Iván, Luis, Donoso, Francisco, que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este estudio.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Página de aprobación.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xv
SUMMARY .....	xvi
1.0 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema a investigar .....	3
1.2 Antecedentes .....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis .....	7
1.5.1 Hipótesis nula .....	7
1.5.2 Hipótesis alternativa .....	7
1.6 Alcances y limitaciones del estudio.....	8
1.6.1 Alcances.....	8
1.6.2 Limitaciones.....	8
2.0 REVISIÓN DE LITERATURA .....	9
2.1 La base de la agricultura de tala y quema.....	9
2.2 Efectos sobre el suelo .....	10
2.2.1 Modificaciones en la textura del suelo .....	10
2.2.1.1 Constituyentes del suelo .....	11
2.2.1.2 Cambios en la textura del suelo originados a partir de un incendio.....	14
2.2.2 Modificaciones en el pH del suelo por el fuego .....	14
2.2.2.1 La solubilidad de los nutrientes.....	15
2.2.2.2 Efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados.....	18
2.2.2.3 Toxicidad influenciada por el pH .....	18
2.2.2.4 Efectos en el crecimiento de organismos benéficos y nocivos.....	19
2.2.2.5 Factores que favorecen la acidez en los suelos.....	19
2.2.2.6 Efecto del fuego sobre el pH.....	20
2.2.3 Modificaciones en el contenido de la materia orgánica .....	21
2.2.3.1 Dinámica de acumulación de la materia orgánica.....	23

2.2.4 Variación en la capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases.....	28
2.2.5 Cambios en la concentración y disponibilidad de los nutrientes.....	29
2.2.5.1 Cambios en el contenido de fósforo.....	30
2.2.5.1.2. Respuesta del fósforo del suelo sometido a un incendio .....	34
2.2.5.2 Cambios en el contenido de potasio .....	37
2.2.5.2.1 Formas del potasio en el suelo .....	39
2.2.5.2.2 Relación entre el potasio y el fuego .....	40
2.2.5.3 Cambios en el contenido de nitrógeno.....	41
2.2.5.3.1 Relación entre el nitrógeno y el fuego.....	42
2.2.5.4 Cambios en el contenido de micronutrientes .....	44
3.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1 Ubicación del ensayo .....	46
3.2 Preparación a la parcela .....	47
3.3 Unidades experimentales.....	47
3.4 Colecta de muestras y método de muestreo.....	48
3.4 Análisis de datos .....	50
4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
4.1 Granulometría .....	52
4.2 pH y acidez .....	62
4.3 Materia orgánica .....	70
4.4 Capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases.....	74
4.5 Fósforo .....	81
4.6 Potasio .....	84
4.7 Nitrógeno.....	87
4.8 Micronutrientes.....	91
5.0 CONCLUSIONES .....	108
6.0 RECOMENDACIONES.....	110
7.0 REFERENCIAS CITADAS.....	111
8.0 ANEXOS.....	124

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO I. METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO PARA DETERMINAR LOS COMPONENTES A EVALUAR.....	50
CUADRO II. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE ARENA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	52
CUADRO III. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE LIMO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	56
CUADRO IV. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE ARCILLA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	59
CUADRO V. VARIACIÓN DEL pH EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	62
CUADRO VI. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	66
TABLA VII. VARIACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	70
TABLA VIII. VARIACION DE LA CICE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	74
CUADRO IX. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	78
CUADRO X. FÓSFORO ASIMILABLE EN ppm EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	81
CUADRO XI. CONTENIDO DE POTASIO EN ppm DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	84
CUADRO XII. CONTENIDO DE NITRÓGENO A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE POR MES EN Kg/Ha.....	87
CUADRO XIII. CONTENIDO DE CALCIO EN meq/100g EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	91
CUADRO XIV. CONTENIDO DE MAGNESIO EN meq/100g EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	93
CUADRO XV. CONTENIDO DE SODIO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	95

CUADRO XVI. CONTENIDO DE HIERRO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	97
CUADRO XVII. CONTENIDO DE MANGANESO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	99
CUADRO XVIII. CONTENIDO DE COBRE EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	101
TABLA XIX. CONTENIDO DE ZINC EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	103
CUADRO XX. RESULTADOS DE LOS TEST ANOVA REALIZADOS A CADA MICRONUTRIENTE.....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS CONSTITUYENTES DEL SUELO...11	
FIGURA 2. TRIÁNGULO TEXTURAL SEGÚN EL SISTEMA AMERICANO (USDA).....12	
FIGURA 3. DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES INFLUENCIADA POR EL pH.....17	
FIGURA 4. CICLO DEL FÓSFORO.....31	
FIGURA 5. TRANSFORMACIÓN DEL FÓSFORO DE SUS FORMAS MÁS SOLUBLES A LAS MENOS SOLUBLES.....33	
FIGURA 6. CICLO DEL POTASIO.....38	
FIGURA 7. CICLO DEL NITRÓGENO.....41	
FIGURA 8. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....46	
FIGURA 9. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA TESTIGO.....53	
FIGURA 10. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....53	
FIGURA 11. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....54	
FIGURA 12. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA TESTIGO.....56	
FIGURA 13. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....57	
FIGURA 14. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....57	
FIGURA15. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA TESTIGO.....59	
FIGURA16. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL.....60	

FIGURA 17. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	60
FIGURA 18. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA TESTIGO.....	63
FIGURA 19. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	63
FIGURA 20. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	64
FIGURA 21. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA TESTIGO.....	66
FIGURA 22. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL.....	67
FIGURA 23. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2...	67
FIGURA 24. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA TESTIGO.....	68
FIGURA 25. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	68
FIGURA 26. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR LA INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	69
FIGURA 27. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA TESTIGO.....	70
FIGURA 28. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	71
FIGURA 29. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	71
FIGURA 30. VARIACIÓN DE LA CICE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS.....	74
FIGURA 31. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA TESTIGO.....	75
FIGURA 32. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	75
FIGURA 33. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	76
FIGURA 34. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA TESTIGO.....	78

FIGURA 35. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	79
FIGURA 36. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	79
FIGURA 37. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA TESTIGO.....	81
FIGURA 38. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	82
FIGURA 39. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	82
FIGURA 40. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA TESTIGO.....	84
FIGURA 41. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	85
FIGURA 42. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	85
FIGURA 43. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA TESTIGO.....	88
FIGURA 44. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	88
FIGURA 45. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	89
FIGURA 46. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA TESTIGO.....	91
FIGURA 47. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	92
FIGURA 48. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	92
FIGURA 49. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA TESTIGO.....	93
FIGURA 50. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	94
FIGURA 51. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	94
FIGURA 52. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA TESTIGO.....	95
FIGURA 53. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	96
FIGURA 54. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	96

FIGURA 55. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA TESTIGO.....	97
FIGURA 56. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	98
FIGURA 57. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	98
FIGURA 58. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA TESTIGO.....	99
FIGURA 59. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	100
FIGURA 60. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	100
FIGURA 61. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA TESTIGO.....	101
FIGURA 62. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	102
FIGURA 63. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	102
FIGURA 64. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA TESTIGO.....	103
FIGURA 65. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	104
FIGURA 66. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	104

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
FIGURA 67. PARCELA EXPERIMENTAL ANTES DE DIVIDIR EN DOS .....	124
FIGURA 68. PARCELA EXPERIMENTAL 1.....	125
FIGURA 69. PARCELA EXPERIMENTAL 2.....	125
FIGURA 70. PARCELA TESTIGO.....	126
FIGURA 71. SECADO DE MUESTRAS.....	126
FIGURA 72. PLAGAS Y DEFICIENCIAS EN IMAGEN EN LAS PARCELAS.....	127
FIGURA 73. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	127
FIGURA 74. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICO.....	128
CUADRO XXII. NIVELES CRÍTICOS PARA LOS NUTRIENTES.....	128
CUADRO XXIII. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA.....	129
FIGURA 75. TRIÁNGULO TEXTURAL SEGÚN EL SISTEMA AMERICANO.....	132
CUADRO XXIV. RANGOS DE pH.....	133
CUADRO XXV. ACIDEZ TITULABLE.....	134
CUADRO XXVI. CICE Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES.....	135
CUADRO XXVII. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO.....	137
CUADRO XXVIII. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	138
CUADRO XXIX. DETERMINACIÓN DE POTASIO Y MICROELEMENTOS.....	139
CUADRO XXX. ESTIMACIÓN DE NITRÓGENO.....	141
CUADRO XXXI. PRECIPITACIÓN REGISTRADA EN LA FACULTAD DE DE CIENCIAS AGROPECUARIAS AÑO 2017.....	143

DINÁMICA NUTRICIONAL DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL  
TAUNGYA, BAJO LA TÉCNICA DE TALA Y QUEMA EN EL CEIACHI,  
CORREGIMIENTO DE CHIRIQUÍ.

MOISÉS DE LEÓN R.

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

RESUMEN

Esta investigación se realizó en el proyecto Establecimiento de Germoplasma de Árboles Frutales de Panamá, ubicado en la parcela 11B del Centro de Enseñanza e Investigación de Chiriquí (CEIACHI) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá. La misma fue de tipo experimental, con una duración de 8 meses.

El objetivo principal fue analizar la dinámica nutricional en esta forma de agricultura de subsistencia de tala y quema.

Para la determinación de la concentración de los nutrientes se realizaron muestreos de suelo de cero a quince centímetros de profundidad, antes de la quema, 4 días posteriores al incendio. Una vez establecidas las lluvias, se tomaron muestras mensualmente.

Durante los 8 meses de duración del ensayo, se encontró mediante el análisis de suelo una disminución en la mayoría de los nutrientes fundamentales para el desarrollo de los cultivos de subsistencia.

Los elementos que sufrieron las mayores afectaciones fueron: potasio, calcio, manganeso. Además de cambios físicos sufridos en la concentración de arena, limo y arcilla posteriores al incendio.

Palabras Claves: agricultura de subsistencia, concentración de nutrientes, muestreo, tala y quema, sistema taungya.

NUTRITIONAL DYNAMICS OF THE SOIL IN A TAUNGYA AGROFORESTRY SYSTEM, UNDER THE TECHNIQUE OF CUT AND BURNING IN THE CEIACHI, CORREGIMIENTO OF CHIRIQUI.

MOISES DE LEON R.

PANAMA UNIVERSITY

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE

AGRICULTURAL SCIENCES SCHOOL

SUMMARY

This research was carried out in the project Establishment of Germplasm of Fruit Trees of Panama, located in plot 11B of the Center of Teaching and Research of Chiriquí (CEIACHI) of the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Panama. It was an experimental type, with duration of 8 months.

The main objective was to analyze the nutritional dynamics in this form of slash and burn subsistence agriculture.

To determine the concentration of nutrients, soil samples were taken from zero to fifteen centimeters before burning, 4 days after the fire. Once the rains were established, samples were taken monthly.

During the 8 months of the trial, a decrease in most of the fundamental nutrients for the development of subsistence crops was found through soil analysis.

The elements that suffered the most affectation were: potassium, calcium, manganese. In addition to physical changes suffered in the proportion of sand, silt and clay after the fire.

Keywords: subsistence agriculture, nutrient concentration, sampling, slash and burn, taungya system.

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido desde el inicio de los tiempos uno de los elementos más importantes en la historia de la humanidad. Desde hace mucho tiempo el hombre no solo poseía conocimiento del fuego, sino que era capaz de transportarlo. Este elemento era muy apreciado por lo difícil que era de conseguir nuevamente en un caso de que lo perdieran accidentalmente. Se dice que el mismo se cuidaba con la vida.

Desde su descubrimiento accidental, tal vez de un árbol incendiado por la caída de un rayo o de una erupción volcánica, el fuego ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la humanidad, dentro de los beneficios se pueden mencionar el cocimiento de los alimentos, la fundición de metales que posteriormente sirvieron de herramientas usadas con fines bélicos o de supervivencia, entre los que se puede incluir la agricultura.

En la naturaleza, el fuego juega un papel fundamental en la renovación de los bosques templados, cuyas semillas necesitan del calor para poder romper su latencia y germinar. Además de que siempre se ha manifestado como un disturbio natural en nuestro planeta, y ha tenido influencia en la sucesión ecológica del mismo, deteniéndola, ciclándola, retrocediéndola o promoviéndola. Dentro de la agricultura, las antiguas civilizaciones ya utilizaban el fuego para el desmonte de nuevos campos de cultivo, además de su uso en la eliminación de residuos de la cosecha anterior y de esta manera preparar el terreno para una nueva siembra. Con el pasar de los años, se empieza a notar una merma en los rendimientos, por lo que deciden tomar

otra parcela virgen del bosque y la someten al mismo tratamiento anteriormente hecho, y así sucesivamente (Bandy, Garrity, & Sánchez, 1994).

El uso del fuego como herramienta de desmonte es una práctica común en la agricultura tradicional, debido a su bajo costo, además de que es fácilmente asequible; por lo que es considerado a la hora de desarrollar un cultivo, para garantizar de esta manera el sustento de la familia en particular, de las zonas rurales.

Todas las plantas necesitan una serie de nutrientes esenciales para que logren explotar su potencial productivo. Con el uso de esta técnica se percibió que se podían incorporar al suelo por medio de las cenizas que quedan luego de la quema, de una manera rápida. Sin embargo, no resulta efectivo por el motivo de que estos nutrientes contenidos en las cenizas son fácilmente lavados y lixiviados, dejando de ser de utilidad para las plantas cultivadas; de hecho, se dice que estos solamente están disponibles por un corto periodo de tiempo, que coincide con la caída en la producción de estas parcelas y posteriormente su abandono por parte del productor. Con el desarrollo de la agricultura, persiguiendo mejores rendimientos en los cultivos, se observó que no era un método efectivo, por lo que este queda relegado a pequeños productores y campesinos, que no cuentan con los recursos ni el apoyo necesario para optar por las nuevas técnicas de siembra.

En nuestro país es común escuchar a los campesinos hablar de la quema, sobre todo de su beneficio, alegando que de esta manera matan plagas, eliminan peligros hacia ellos como lo serían las serpientes, escorpiones y otros. Además de no tener que esforzarse tanto por el control de las malezas, ya que, utilizándola, se puede ejercer un control rápido de las mismas, preparando el terreno para la siembra.

## 1.1 Planteamiento del problema a investigar

Desde el inicio de la humanidad, la tala y quema han jugado un papel fundamental en cuanto a la colonización de nuevas áreas destinadas en primer lugar a la agricultura, por la gran velocidad con la que se logra desmontar un terreno virgen, además de alejar gran cantidad de animales e insectos que podrían resultar perjudiciales para las personas.

Con el pasar de los años, estos terrenos van perdiendo su fertilidad natural, principalmente, debido a la erosión, que provoca que estos nutrientes que en un principio eran fácilmente asimilables por las plantas, se agoten rápidamente, ya sea por percolación a horizontes más profundos, por solución en el agua de escorrentía o por fijación en los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía (Baker y Laflen 1983), provocando así que se repita nuevamente el ciclo de tala y quema en una nueva parcela, buscando esos nutrientes fácilmente asimilables por las plantas, aumentando así la superficie total de tierra en procesos de degradación y que en un futuro no puedan ser utilizadas para labores agrícolas o se haga de una manera poco rentable.

## 1.2 Antecedentes

Desde la antigüedad el fuego, siempre ha acompañado al hombre en las diversas actividades que este realiza, ya sea como fuente de calor para lograr sobrevivir a nevadas, fabricación de utensilios para diversos fines, entre otros. Se sabe que el fuego ha sido el colono por excelencia de los bosques vírgenes, por lo que ha ido de la mano con el desarrollo de la agricultura de las diversas civilizaciones.

En la agricultura su uso no es nuevo, existen evidencias del uso intencional del fuego para la limpieza de matorrales que posteriormente eran utilizados para la siembra de diversos cultivos, los que servían de alimento para los animales que poseían, además de para ellos mismos. Nuestros campesinos lo utilizan como una valiosa herramienta a la hora de limpiar un campo, por su bajo costo y su manejo relativamente fácil. Además de lograr el objetivo que es eliminar todas las malezas y residuos de cosecha anterior, así como para ganar más terreno que pueda ser cultivado para aumentar sus producciones.

La falta de políticas y apoyo por parte de los diferentes sectores del país, ha hecho imposible que se abandone esta práctica de la cultura agrícola de nuestros campesinos, en el esquema de producción de autoconsumo o agricultura de subsistencia.

### 1.3 Justificación

La agricultura de talar y quemar es una forma de agricultura migratoria en la cual la vegetación natural se tala y se quema como un método de despejar la tierra para cultivar, y luego, cuando la parcela se vuelve poco productiva el agricultor se traslada a una nueva parcela y hace el mismo proceso otra vez. Esto se repite una y otra vez (Rainforestsaver 2017).

Se estima que entre 200 y 500 millones de los agricultores más pobres del mundo están obligados a ganarse la vida de esta manera en algunas de las tierras más pobres del mundo. Al talar y quemar el bosque tropical, estos agricultores sin tierras pueden usualmente sostenerse en la misma parcela por unos dos años consecutivos; luego el suelo pierde su fertilidad (Rainforestsaver 2017).

Nuestro país no escapa de esta realidad, por lo que se hace necesario analizar los beneficios y perjuicios de esta técnica de cultivo, para que de esta manera se puedan tomar los correctivos necesarios y poder ayudar a estos productores de subsistencia, que por lo general son los que utilizan más este método agrícola y así de esta forma evitar que se siga elevándose la degradación de los suelos en las distintas áreas del país.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

- Analizar la dinámica nutricional del suelo bajo el sistema de agricultura de subsistencia de tala y quema y determinar la efectividad del mismo.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la concentración de los nutrientes esenciales (macro y micro) en el desarrollo de un cultivo de autoconsumo en una parcela sin fertilización.
- Determinar la efectividad de esta forma de agricultura migratoria de subsistencia de tala y quema.
- Ofrecer las recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 Hipótesis Nula

- La concentración de los nutrientes esenciales para el normal desarrollo de una planta no disminuye con el primer ciclo de cultivo, con la implementación del método de cultivo de tala y quema.

### 1.5.2 Hipótesis Alternativa

- La concentración de los nutrientes esenciales en el desarrollo de una planta disminuye con el primer ciclo de cultivo, con la implementación del método de cultivo de tala y quema.

## 1.6 Alcances y limitaciones del estudio

### 1.6.1 Alcances

Con este estudio se pretende explorar la dinámica nutricional en el suelo utilizando el sistema de producción de tala y quema, para que, de esta manera, especialistas de las ciencias agropecuarias logren dar recomendaciones más precisas para aumentar la producción y así lograr un impacto positivo en el desarrollo y calidad de vida de las personas dedicadas a la agricultura de subsistencia.

### 1.6.2 Limitaciones

Esta investigación solo se centra en la dinámica nutricional del suelo en el sistema de producción tala y quema, aunque ya se conoce que no solo la nutrición de un cultivo contribuye a un alto rendimiento.

La falta de conocimiento de las personas que realizan esta práctica agrícola, incide en el logro de la implementación de los conocimientos adquiridos derivados de la investigación.

## 2.0 REVISIÓN DE LITERATURA

El sistema de producción de tala y quema, también conocido como agricultura migratoria, es un sistema agrícola que se encuentra ampliamente distribuido en los países del trópico húmedo. Ha perdurado con el pasar de los años y todavía en la actualidad sigue siendo utilizado en un 30 % de los suelos arables del mundo. Este sistema es la base de la producción de alimentos de aproximadamente 300 millones de personas en el mundo (Andriessse y Schelhaas 1987). Este sistema ofrece una alternativa cuando se habla de agricultura de subsistencia, el mantenimiento de los valores culturales y la estabilidad social de los grupos humanos que viven en bajas densidades en los bosques tropicales húmedos. Este tipo de agricultura tiene como característica el ciclo de los nutrientes y los cultivos que son útiles, para entender los usos sostenibles del suelo del trópico húmedo. Este sistema incluye el aclareo de pequeñas parcelas cuando cesan las lluvias en la región. De aquí se pueden obtener especies arbóreas valiosas que pueden ser vendidas y el resto se quema antes del inicio de las lluvias; además del aclareo, la quema también ayuda en el control de las plagas y enfermedades de la parcela, al igual que a la rápida limpieza del lugar de cultivo con la ventaja de que se necesita poca mano de obra (Bandy, D., Garrity, D., Sánchez, P. 1994).

### **2.1 La base de la agricultura de tala y quema**

La sustitución de los nutrientes en el suelo es un proceso sumamente lento, que los concentra en el lugar adecuado para que pueda ser aprovechado por las plantas. En este caso: el cultivo, no agrega nuevos elementos al sistema. Al final este método da

como resultado que en el periodo de barbecho no se mejora la fertilidad del suelo directamente (Bandy, D., Garrity, D., Sánchez, P. 1994).

(Bandy, D., Garrity, D., Sánchez, P. 1994), dicen que: ``en el trópico húmedo no hay agricultores migratorios prósperos''. El éxito de esta forma de agricultura radica en la eliminación de plagas, malezas y en el ciclo de los nutrientes.

El fuego produce una serie de cambios en el suelo que van relacionados directamente con la intensidad del mismo, el tipo de combustible que se está consumiendo, de las características propias del suelo, además del clima y la topografía (Wright y Bailey 1982). Estos cambios producidos por el fuego logran afectar de una manera significativa las propiedades físicas, químicas y biológicas de la capa superficial del suelo (DeBano 1990, Agee 1993), que son de suma importancia para el mantenimiento de la productividad a largo plazo (Agee 1993).

Además de todo esto el fuego también altera el ciclo de nutrientes, ya que por medio de la combustión de la materia orgánica y el mantillo incrementan la disponibilidad de algunos nutrientes, mientras otros son volatilizados (DeBano 1990).

## **2.2 Efectos sobre el suelo**

El fuego ocasiona alteraciones en el suelo tanto a nivel físico, como químico. A nivel de estructura suele ser positiva por la incorporación de carbono y carbonatos en el humus, sin embargo, se sabe que el fuego afecta negativamente a la biota del suelo (Ribeiro, A., Adams, C., Sereni, R. 2013).

### **2.2.1 Modificaciones en la textura del suelo**

Esta no es más que la proporción en la que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; estos son: la arena (partícula más grande constituyente del

suelo), el limo (partícula media) y la arcilla (constituyente más pequeño del suelo). Se suele decir que existe una buena textura cuando la proporción de sus constituyentes dan la capacidad de ser un soporte capaz de favorecer la correcta fijación del sistema radicular de la planta, además de su nutrición. (Rucks, L., et al. 2004).

### 2.2.1.1 Constituyentes del suelo

Como se expresó anteriormente, el suelo está constituido de arena, limo y arcilla; sus proporciones dan una idea del uso que se le pueda dar al mismo.

ESCALA INTERNACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO (SICS)								
pedra	grava	arena gruesa	arena fina	limo	arcilla			
20	2	0,2	0,02	0,002	mm			
ESCALA DE DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS								
arenas								
pedra	grava	muy gruesa	gruesa	media	fina	muy fina	limo	arcilla
20	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,002	mm

FIGURA 1. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS CONSTITUYENTES DEL SUELO  
Fuente: figura elaborada por el autor a partir de edafología.net

Arena: Entra dentro de las fracciones gruesas junto con la grava. Su tamaño está entre los 2 y 0.02 mm (Sociedad Internacional de la Ciencia de Suelo). Cuando no poseen una cobertura de arcilla o limo, prácticamente no tienen plasticidad y tenacidad. Producto de sus grandes espacios de separación, su capacidad de retener agua es escasa. El paso del agua gravitacional es sumamente rápido. De esta manera facilitan el drenaje y la aireación del suelo. (Rucks, L., et al. 2004).

Limo: Son las partículas comprendidas entre 0.02 y 0.002 mm (Sociedad Internacional de la Ciencia de Suelo). Este tamaño se considera como medio-fino. Al

igual que la arena, esta no tiene capacidad de agregación. No puede formar estructura. No sufre expansión ni contracción. Posee una baja capacidad de intercambio catiónico (López Jordán, A. 2005).

Arcilla: Esta es la fracción constituyente más pequeña del suelo. proviene de la alteración química del material original. Por este motivo se diferencia mineralógicamente de las anteriores fracciones por estar compuesta de minerales originados por meteorización que no son encontrados en rocas sin meteorizar. Éstas poseen capacidad de agregación y no tienen el comportamiento de granos individuales en el suelo en esta categoría entran las partículas con un tamaño inferior a los 0.002 mm (Sociedad Internacional de la Ciencia de Suelo), (López Jordán, A. 2005).

Todo componente mayor a los 2 mm de diámetro, no se considera a la hora de evaluar esta propiedad.

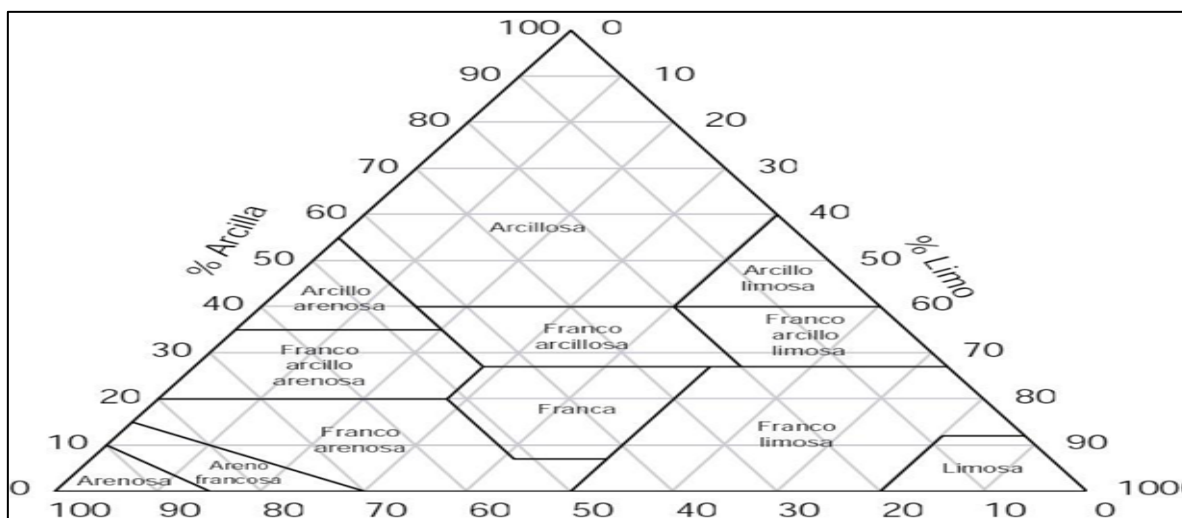


FIGURA 2. TRIÁNGULO TEXTURAL DEL SISTEMA AMERICANO (USDA)

Fuente: figura obtenida de: <https://elagricultoreficiente.blogspot.com/2013/01/textura-del-suelo.html>

La textura se representa sobre un gráfico mediante un diagrama textural. Este tiene forma de triángulo equilátero donde en cada uno de sus lados se colocan los porcentajes de arena, limo y arcilla. De esta manera se logra relacionar gráficamente las muestras de suelo. Desde este punto de vista los suelos se clasifican en tres tipos: suelos pesados o arcillosos, suelos medios y los suelos ligeros o arenosos (López Jordán, A. 2005).

Desde un punto de vista agronómico, los suelos arenosos poseen buenas características físicas, pero un poco malas en cuanto a las químicas. Estos suelos son inertes químicamente hablando, carecen de propiedades coloidales, además las reservas de nutrientes son escasas o nulas, sin embargo, físicamente hablando, poseen una alta aireación, alta permeabilidad y baja retención de agua, además de que su grado de desarrollo de estructura es bajo (López Jordán, A. 2005).

En cuanto a los suelos limosos, estos no se encuentran frecuentemente y comúnmente son encontrados en zonas de influencia aluvial. Su fertilidad química es baja, la proporción de materia orgánica presente es baja también, al igual que su capacidad de intercambio catiónico. Poseen una mayor capacidad de retención de agua que las arenas, pero mucho menor que las arcillas, además no poseen capacidad de agregación. El limo puede ser arrastrado fácilmente por el agua y depositarse relleno los poros y de esta forma disminuyen la aireación al igual que la permeabilidad del suelo (López Jordán, A. 2005).

Los suelos arcillosos son activos desde el punto de vista químico. Esta actividad viene determinada por su carácter coloidal y por su elevada superficie específica. Estos suelos poseen capacidad de agregación, por lo que tienen una estructura mucho más desarrollada, en esta estructura también interviene la materia orgánica,

así como cationes que se encuentran en el suelo. Desde el punto de vista químico, es la principal reserva de nutrientes, junto con la materia orgánica. Estos suelos poseen una alta capacidad de retención de agua, además de estar bien estructurados (López Jordán, A. 2005).

### **2.2.1.2 Cambios en la textura de suelo originados a partir de un incendio**

La textura del suelo se ve modificada por el fuego si este entra en altos umbrales de temperatura en la superficie del suelo. La fracción de suelo más sensible a estos cambios es la arcilla. Este constituyente del suelo empieza a modificarse con temperaturas de 400° C, a esta temperatura la hidratación de la arcilla y su estructura comienzan a colapsar, siendo la estructura interna completamente destruida, una vez alcanzadas temperaturas entre 700 y 800 ° C. La arena y limo requieren temperaturas superiores a los 1414 ° C y estas situaciones no se dan comúnmente. Estas modificaciones son apreciables principalmente en los primeros centímetros del suelo, a medida que aumenta la profundidad el efecto disminuye, a menos que existan raíces de troncos en combustión que contribuyan a un aumento de la temperatura del suelo (Beyers et al., 2008).

Las altas temperaturas producen una descomposición térmica en las arcillas en los suelos, con este efecto se suele liberar compuestos amorfos de silicio y aluminio, que serían cementantes de partículas aumentando las fracciones de arena (Ulery y Graham, 1993).

### **2.2.2 Modificaciones en el pH del suelo por el fuego**

El potencial de hidrógeno no es más que una medida de acidez o alcalinidad en una disolución, en este caso: el pH del suelo. Esta medida nos da la concentración de los

iones de hidrógeno presentes en la disolución. Esta escala va de 0 a 14, dentro de la cual los valores que se encuentren por debajo de 7 se considerarán ácidos, por arriba de 7 se considerarán básicas o alcalinas, el 7 se considera como un pH neutro. Cada cambio que involucre una unidad de pH indica una concentración 10 veces mayor o menor de hidrógeno comparado con el valor anterior. En contraste se puede decir que un suelo con pH 5 posee una concentración de Hidrógeno 100 veces mayor a un suelo con pH 7 (López, Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby 2013).

Esta es considerada como una de las características químicas de mayor importancia para el desarrollo de las plantas producto de que ejerce una compleja influencia en el crecimiento de las mismas (Tejeira, R. 2017), dentro de las cuales se destacan:

#### **2.2.2.1 La solubilidad de los nutrientes**

Uno de los efectos de mayor importancia del comportamiento del pH en el suelo se encuentra estrechamente relacionado con la nutrición mineral de las plantas (Casanova, Eduardo 2005). En valores extremos de pH, sean estos alcalinos o ácidos, la absorción de nutrientes se ve afectada. Este efecto se debe a que en esos pH se forman compuestos, producto de reacciones químicas que luego terminan en productos que no son asimilables por las plantas, provocando en ocasiones síntomas visibles de deficiencia nutrimental (Casanova, Eduardo 2005).

Cada cultivo tiene sus valores de pH específicos para desarrollar todo su potencial genético, por lo general la mayoría de los cultivos se desenvuelven bien en pH comprendidos entre 5,5 y 6,5. Estos valores coinciden con una mayor disponibilidad

de los nutrientes fundamentales para su máximo desarrollo y producción (Mckenzie, Ross H 2003).

En el caso del nitrógeno, que es considerado un macro elemento en la nutrición de un cultivo por la gran cantidad que necesita ser extraído por las plantas para su desarrollo y producción. Las plantas no absorben nitrógeno en su forma pura, sino en su forma de compuesto, sea esta amonio o nitrato. En términos generales este elemento no es influenciado fuertemente por el pH del suelo a menos que se den casos de que el pH sea demasiado ácido (menor de 4.5) o demasiado básico (mayor de 8.5). La absorción de nitrato es más eficiente a un pH más bajo, mientras que la absorción de amonio es más eficiente a medida que se acerca a un pH neutro (Miller, Jarrod O. 2016).

El caso del fósforo es todo lo contrario, es un macro elemento fuertemente dependiente del pH. En suelos con pH por arriba de 6.5 el fósforo se une con el Calcio y de esta forma se transforman en minerales sólidos, por debajo de 6.5 se convierte en minerales de aluminio, así como compuestos de hierro insolubles y es retenido por las arcillas. De esta manera se limita la disponibilidad de el fósforo asimilable por la planta (Miller, Jarrod O. 2016).

El azufre no es un elemento que se encuentre muy influenciado por el pH, sin embargo, la forma asimilable del azufre se encuentra cargada negativamente y se conserva de una mejor manera en suelos ácidos (Miller, Jarrod O. 2016).

El potasio, calcio y el magnesio se ven afectados indirectamente por el pH. Estos elementos se encuentran menos disponibles en suelos ácidos por el motivo de que se han lixiviado y no por problemas de solubilidad (Miller, Jarrod O. 2016).

En el caso de micro elementos como el boro, zinc, manganeso, hierro, cobre aumentan su disponibilidad en pH ácidos. Solo el Molibdeno que aumenta a medida que el pH se mueva hacia la alcalinidad. Por cada aumento de una unidad el cobre y el manganeso disminuyen 100 veces su concentración asimilable ya que son precipitados a minerales sólidos y de esta manera no son asimilables por las plantas (Miller, Jarrod O. 2016).

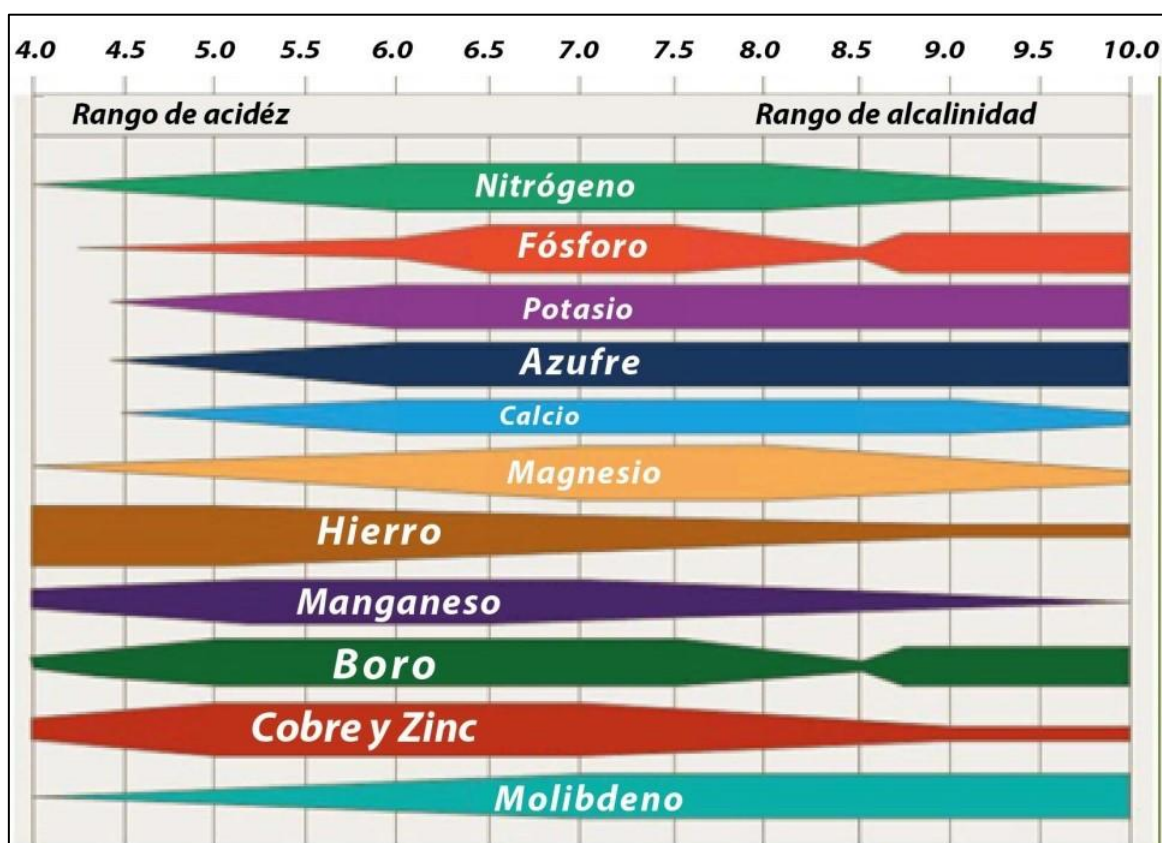


FIGURA 3. DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES INFLUENCIADA POR EL pH

Fuente: figura obtenida de hidrocultura.com

En la imagen presentada, se logra apreciar como aumenta o disminuye la disponibilidad de los nutrientes a medida que cambia el pH en el suelo. Se logra observar que la mayor disponibilidad de nutrientes se logra con pH que van desde 5.5 a 6.5, que corresponden con el pH óptimo para la mayoría de los cultivos.

#### **2.2.2.2 Efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados**

Cuando se aplica un fertilizante que contenga nitrógeno, el proceso de nitrificación libera iones de hidrógeno que pueden lograr un efecto acidificante (Lupi, Ana María; 2001). Durante su cambio en el suelo, la urea, por cada mol de la misma se libera 2 moles de hidrógeno una vez completo el proceso de nitrificación.

#### **2.2.2.3 Toxicidad influenciada por el pH**

A medida que el pH cae, la disponibilidad del Aluminio aumenta, a pH de 4,5 ya es tóxico para especies sensitivas y si es menor de 5,2 ya se vuelve tóxico para las especies tolerantes. Los principales efectos negativos del aluminio son: retardo del crecimiento radicular además de restringir el acceso de agua y nutrientes.

El aluminio soluble es el factor que se encuentra en primer lugar condicionando el crecimiento y desarrollo de cultivos en suelos ácidos (Tang et al., 2002). Además de que conlleva a una disminución de la solubilidad del fósforo y del molibdeno, así como un descenso en la concentración de los macro nutrientes en la solución del suelo (Rout et al., 2001).

Generalmente el aluminio soluble modifica el crecimiento celular, cambia la estructura y funcionamiento de las membranas plasmáticas, aumenta considerablemente la rigidez de la pared celular, propicia una disminución en la

respiración, interfiere en la actividad de enzimas además de interferir en la toma de agua y nutrientes (Garzón, 2003; Casierra & Aguilar, 2007).

#### **2.2.2.4 Efectos en el crecimiento de organismos benéficos y nocivos**

Con un pH ácido en suelos superficiales se afecta la actividad microbiana, este efecto se aprecia mejor en la notable disminución de la nodulación en leguminosas. Bacterias Rhizobia se reducen considerablemente en los suelos ácidos (Soil quality 2018). Con esto algunos procesos como lo son: la descomposición de la materia orgánica, así como la nitrificación, se vuelven lentos en suelos ácidos y de esta manera se limita la disponibilidad de los nutrientes (Smart-fertilizer 2017).

Los microorganismos son considerados como un componente de suma importancia en los suelos. Es la parte viva del mismo y en ellos cae la responsabilidad de la dinámica de transformación y desarrollo. Cumplen funciones determinantes en cuanto a la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos que luego son incorporados al sistema en formas asimilables, para las plantas (Delgado H, Mario 2015).

Esta comunidad de microorganismos está compuesta por bacterias, actinomicetos, hongos, algas, virus y protozoarios. Dentro de sus funciones más importantes se pueden mencionar: suministro directo de nutrientes, mineralización, solubilización de compuestos inorgánicos, cambios químicos en compuestos inorgánicos, aumento del desarrollo radicular de las plantas, mejora las propiedades físicas del suelo (Delgado H, Mario 2015).

#### **2.2.2.5 Factores que favorecen la acidez en los suelos**

Dentro de los factores que favorecen la acidez en los suelos se pueden destacar: el

material parental, la temperatura y precipitación, los microorganismos del suelo, la topografía del terreno, el hombre (Tejeira, R. 2017).

En el área del trópico húmedo, las temperaturas elevadas y el alto nivel de pluviosidad provocan una alta tasa de meteorización y con ella el lavado de cationes básicos, lo que contribuye en un aumento de la acidez (Tejeira, R. 2017).

La acidez del suelo se divide en:

La acidez activa: No es más que el valor que se obtiene directamente del potenciómetro cuando se coloca la muestra en agua destilada. Se define como los hidrógenos presentes en la solución de suelo que se encuentran en equilibrio con los retenidos en la superficie de las arcillas, junto con las bases intercambiables (Solís, Jorge; 1981).

La acidez de reserva: Se refiere a la concentración de los iones de hidrógeno y de aluminio en una forma intercambiable (Casanova, Eduardo 2005).

Cuando la acidez del suelo se ve incrementada, la capacidad de retención de los cationes de intercambio disminuye por el aumento de carga positiva en los coloides. (Demanet F, Rolando 2017).

Esta menor capacidad de retención de cationes de intercambio y la concentración de las precipitaciones aumentan la lixiviación de las bases del suelo, favoreciendo de esta forma la hidrólisis del aluminio, volviéndose un elemento importante en el complejo de intercambio (Demanet F, Rolando 2017).

#### **2.2.2.6 Efecto del fuego sobre el pH**

Como sucedería en cualquier incendio, la acidez del suelo se verá reducida, esto quiere decir que el pH del mismo aumenta hacia la alcalinidad, debido principalmente

al aporte de cationes como: Ca, Mg, K, Na, como también algunos micro elementos, óxidos, además de carbonatos contenidos en las camas de cenizas de los restos vegetales quemados (González et al. 1996). Cuando estas cenizas se humedecen se produce la liberación de los cationes básicos que se encuentran en las mismas y esto trae como consecuencia la elevación del pH del suelo que fue afectado por el fuego (Ulery et al. 1995).

La modificación del pH va relacionada con la intensidad del fuego. Cuando la intensidad es baja, la combustión de la materia orgánica se realiza de una manera pobre, por lo tanto el efecto en el pH es insignificante (Solera, J. M. 1999). Las altas temperaturas durante la quema, también aceleran la descomposición de la materia orgánica en las capas superiores del suelo (Bandy, D., Garrity, D., & Sanchez, P. 1994). Aunque el autor (Sertsu 1978) informa que el mismo se puede disminuir unas décimas. Esto sucede por la disminución del efecto amortiguador del suelo, como consecuencia de la deshidratación de los coloides (Coles y Morrison citados por Solera, J. M. 1999). Cuando la intensidad del fuego es alta, se logra una elevada combustión, (Ulery et al. 1993). El pH del suelo puede aumentar hasta cuatro o cinco unidades, (Giovannini citado por Solera, J. M. 1999), ésto se debe a la pérdida de grupos OH de los minerales de la arcilla y por la formación de óxidos.

### **2.2.3 Modificaciones en el contenido de materia orgánica**

La materia orgánica del suelo no es más que la fracción de suelo que esta compuesta por restos animales y vegetales, que se encuentran en diferentes etapas de descomposición. La gran mayoría de suelos agrícolas productivos poseen

valores de 3 a 6 % de materia orgánica (Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008).

La materia orgánica esta compuesta por: restos de plantas y biomasa bacteriana viva, materia orgánica activa o detritus, materia orgánica estable o humus (Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008).

Dentro de la biomasa microbiana viviente entran los microorganismos responsables de la descomposición de los residuos, tanto de plantas y animales, además de la materia orgánica activa del suelo. el humus es el producto final de la descomposición de estas últimas, por eso se conoce como la fracción estable de la materia orgánica. (Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008).

Los dos primeros tipos de materia orgánica mencionados, contribuyen con la fertilidad del suelo, producto que a medida que avanza su descomposición liberan nutrientes que las plantas utilizan para su desarrollo. El humus influye en las características químicas, sin embargo, tiene un papel importante contribuyendo en la estructura del suelo, la labranza y la capacidad de intercambio catiónico. Además es la fracción que le otorga el color oscuro característico de los suelos con alto contenido de materia orgánica (Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008).

Dentro de los beneficios que aporta la materia orgánica estable se pueden mencionar los siguientes (Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008):

Físicos: Mejora la estabilidad de los agregados, la infiltración del agua y la retención de la misma, así como la aireación.

Químicos: Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, además del aporte estable de nutrientes a lo largo del tiempo, así como mejorar la capacidad del suelo para resistir el cambio de pH.

Biológicos: Fuente de alimento para los microorganismos del suelo, mejora la biodiversidad de microorganismos y la actividad microbiana.

Los compuestos orgánicos se encuentran en la biomasa aérea y subterránea, donde se encuentran las plantas muertas y restos orgánicos muertos, que se acumulan en la superficie y en todo el perfil del suelo (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

Las cantidades de materia orgánica aérea y subterránea varía ampliamente entre diferentes tipos de vegetación. Esto depende principalmente de la temperatura y la humedad que prevalecen en el área (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

### **2.2.3.1 Dinámica de acumulación de la materia orgánica**

En los bosques la responsable de la acumulación de materia orgánica es la dinámica del suelo forestal. El suelo del bosque proporciona un depósito importante de nutrientes que se reciclan dentro del ecosistema. Este material forma los horizontes orgánicos del suelo. dependiendo del tipo de suelo, la materia orgánica puede concentrarse en el suelo del bosque o propagarse decrecientemente hacia abajo en el perfil de suelo (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

Dentro de los factores que ejercen influencia sobre las cantidades de materia orgánica presente en los suelos, podemos mencionar (Corbella, Roberto; Fernández de U, Juan. Sin fecha):

Temperatura: Resultante de la variación en la producción de materia orgánica y su destrucción. En suelos cálidos este proceso se da mucho más rápido por lo que sus contenidos son mucho menores que en los suelos con temperaturas bajas.

Humedad: A medida que aumenta la humedad efectiva, también lo hace la materia orgánica.

Influencia de la vegetación: Un área provista de un buen contenido de humedad y temperatura origina una gran cantidad de material vegetal que posteriormente se convertirá en materia orgánica.

Textura: Suelos con alto contenido de limo y arcilla poseen más materia orgánica que los suelos arenosos. Además por el tamaño menor de los poros, se restringe el paso de aire en cierta forma, retardando el proceso de oxidación de la materia orgánica.

Efecto del drenaje: Los suelos mal drenados acumulan cantidades mucho más altas comparados con los suelos bien drenados. Esto se debe a la pobre aireación, además de la producción de materia orgánica seca por parte de las plantas.

### **2.2.3.2 La Materia orgánica y el fuego**

El fuego no solo afecta directamente la composición química, también afecta las tasas de mineralización posteriores. La magnitud de estas repercusiones varía. Esto depende de la severidad de la quemadura (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

Cambios químicos: Debido al umbral de baja temperatura de la materia orgánica, esta se vuelve altamente sensible a las altas temperaturas que surgen en el suelo, consecuencias de un incendio. Además gran parte de esta es expuesta directamente al calor irradiado por su cercanía a la superficie del suelo (capa de humus y superficiales). (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

Relacionado con la intensidad del fuego, la materia orgánica puede experimentar diferentes transformaciones tanto cualitativas, como cuantitativas, con diferentes repercusiones (Solera, J. M. 1999).

El contenido de materia orgánica suele decrecer tras un incendio de alta intensidad si el fuego ha afectado directamente a los horizontes más superficiales de éste'' (Soto, et al. 1990). Según (Wells 1981) ``en incendios de baja intensidad, el contenido de materia orgánica del suelo se puede ver incrementado por el aporte de material vegetal quemado parcialmente''.

Diversos estudios se han interesado en cuantificar estas pérdidas durante más de 60 años. (Hosking, 1938; citado por Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005), obtuvo resultados como:

La materia orgánica puede sufrir pérdidas a temperaturas inferiores de 212° C.

Los componentes volátiles contenidos en estas se pierden a temperaturas de hasta 200° C.

Por encima de 300° C, la mayor parte de la materia orgánica residual que es compuesta de material orgánico carbonoso se pierde al encenderse.

Cuando el suelo se calienta a 450° C durante dos horas o 500° C por media hora es suficiente para destruir el 99 % de la materia orgánica.

En ausencia del fuego los nutrientes que se encuentran contenidos en la materia orgánica son reciclados por un proceso llamado descomposición biológica, donde en pocos casos la temperatura de esta logra alcanzar los 38° C, además de que la humedad es suficiente para poder sustentar la actividad microbiana. Con estas condiciones los microorganismos descomponen la materia orgánica lentamente, liberando nutrientes esenciales a medida que transcurre el tiempo (DeBano 1990).

Sin embargo, cuando esta materia es sometida a un incendio los nutrientes contenidos en esta son sometidos a un calentamiento severo, además de varias transformaciones irreversibles durante la combustión (Raison 1979).

La materia orgánica es un componente fundamental dado que ella mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, tiene una función en el establecimiento y mantenimiento de la estructura del suelo al ser un agente cementante de las partículas, aumentando la estabilidad estructural por el incremento de agregados organo-minerales que deben su origen a la materia orgánica, así como a los cationes que actúan de enlace entre la arcilla y materia orgánica de esta forma aumenta la estabilidad de la estructura, evitando la erosión. (Solera, J. M. 1999).

Con la quema de la materia orgánica se afecta negativamente al suelo en sus características edáficas; tal vez pueda aumentar la cantidad de nutrientes que se puedan utilizar, sin embargo, estos son fácilmente lavados por acción del agua. Con la pérdida de la materia orgánica, disminuye la capacidad del suelo para almacenar nutrientes (Solera, J. M. 1999)

Los flujos de los nutrientes son muy afectados, produciendo un desequilibrio en los ciclos biológicos, cuya restauración puede ser larga. También es importante mencionar que no solo la combustión de la materia orgánica produce cambios (Solera, J. M. 1999).

“ La simple sequedad debida a la pérdida de la humedad del suelo provocada por el incendio, causa modificaciones químicas en la materia orgánica haciéndola más fácilmente mineralizable ” (Birch 1964).

Con la disminución de materia orgánica, hay consecuencias inmediatas en la degradación de la estructura (Soto et al. 1990). Esto va de la mano con el aumento

de la erosionabilidad, producto de la pérdida de los complejos arcillo-húmicos, que son de suma importancia para la resistencia del suelo a la erosión (Solera, J. M. 1999).

Como se puede observar, los incendios no solamente afectan al suelo en el contenido de materia orgánica, sino también llegan a alterarlo cualitativamente. El fuego hace que el humus se transforme, incrementando los compuestos de mayor grado de transformación y disminuyendo los de menos evolución (Solera, J. M. 1999).

“El grado de estabilidad y condensación de las fracciones húmicas aumenta, lo que se traduce en una mayor resistencia a la descomposición biológica” (Almendros et al. 1984).

También se ve afectada la relación C/N, aumentando a medida que aumenta la intensidad del fuego, por lo tanto, los suelos afectados por el fuego presentan una proporción de materia orgánica menor, ácidos fúlvicos de bajo grado de polimerización, incrementando los ácidos húmicos y la proporción de humina de insobulización (Solera, J. M. 1999). Sin embargo, (Almendros et al. 1984), dice que:

“estas modificaciones, aparentemente beneficiosas no se mantienen a largo plazo y si la frecuencia de incendios aumenta, el suelo puede convertirse en un medio inerte, ya que los restos vegetales carbonizados aportados son muy difíciles de transformar”.

Se puede asegurar que tras los incendios, toda la materia orgánica proveniente de la vegetación se mineraliza y enriquece al suelo en forma de nutrientes, incrementando la fertilidad inicial del mismo, debido a que se produce un mayor aporte porque las raíces se mueren y existe un gasto mucho menor de la vegetación superviviente,

pero la mayor parte de estos nutrientes se pierden en muy corto tiempo. La gran mayoría se pierde en la atmósfera producto de la combustión y otros en aguas por escorrentía (Blueberries 2017).

#### **2.2.4 Variación en la capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases**

La quema de la parcela, además de la reducción de la materia orgánica, también provoca una reducción en la capacidad de intercambio catiónico, en una proporción más o menos directa a dicha reducción (Mangas et al. 1992).

Según lo mencionado anteriormente, se puede visualizar una buena correlación entre la cantidad de materia orgánica presente y la reducción de la capacidad de intercambio catiónico. Por este motivo los cationes liberados no podrán ser retenidos por el complejo absorbente, y por esto, serán fácilmente lixiviados por la lluvia, a horizontes más profundos en el perfil del suelo. Al final el resultado es un empobrecimiento del suelo (Solera, J. M. 1999).

Estas variaciones dependerán de la intensidad del fuego y el tipo de suelo. La temperatura entre 100-250 °C, hay una reducción del 20% de la capacidad de intercambio catiónico (Solera, J. M. 1999).

El pH ejerce un efecto directo sobre el CICE. Algunos componentes del suelo tienen grupos funcionales OH en las superficies. Cuando se da un pH alcalino, protones son liberados de estos grupos y la carga de los grupos OH se hace negativa, aumentando de esta manera la CICE. Si el pH es ácido, ocurre todo lo contrario (Smart-fertilizer, sin fecha). El CICE está correlacionado positivamente con el pH, en suelos ácidos el CICE será menor que el potencial máximo del mismo en un pH óptimo (Henry D. Foth, 1990).

Aunque según (Ribeiro, A., Adams, C., Sereni, R. 2013), la capacidad de intercambio catiónico se ve alterada con el uso del fuego de una manera positiva, con el aumento de la misma el incremento de la conductibilidad eléctrica la gran disponibilidad de bases que repercuten en el aumento de la fertilidad del suelo.

La saturación de bases no es más que cuantos iones con carga positiva, sin contar el aluminio y el hidrógeno, son absorbidos por las partículas del suelo. Esta medida se expresa como porcentaje (Gruposacsa, MX. 2016).

Esta información nos da una idea de la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes, además de la fertilidad general del suelo. Todo esto nos permite tener una idea de la capacidad amortiguadora del suelo frente a la acumulación de ácido, además del potencial de lixiviación de minerales a partir de la tierra (Gruposacsa, MX. 2016).

En incendios leves, el porcentaje de saturación de bases se ve poco afectado, sin embargo, este puede tener un pequeño aumento (Harold A. Wright, Henry A. Wright, Arthur W. Bailey; 1982).

La liberación de bases producto de la combustión, provoca que se incremente este valor (Certini, Giacomo; 2005).

La capacidad de la ceniza de neutralizar la acidez, está bien correlacionada con la suma de las distintas concentraciones de cationes de K, Ca, Mg (Certini, Giacomo; 2005).

Sin embargo, estas bases liberadas pueden ser fácilmente lavadas, por lo que este porcentaje tiende a disminuir con el paso del tiempo (Certini, Giacomo; 2005).

### **2.2.5 Cambios en la concentración y disponibilidad de nutrientes**

### **2.2.5.1 Cambios en el contenido de fósforo**

Este es uno de los nutrientes necesarios para que la agricultura se logre desarrollar.

Con esto se quiere decir que ningún otro elemento puede reemplazar su función (Axayacatl, Olmo; 2017).

Este es un macro-elemento, las plantas lo absorben en grandes cantidades. Este nutriente tiene una participación importante en procesos metabólicos, entre los cuales se puede mencionar: la fotosíntesis, la transferencia de energía, además de la síntesis y degradación de carbohidratos (Smart-fertilizer, sin fecha).

Este elemento se puede encontrar en el suelo en forma de compuestos orgánicos, así como minerales, sin embargo, la cantidad de fósforo disponible para las plantas es muy limitado comparado con la cantidad de fósforo encontrado en el suelo. (Smart-fertilizer, sin fecha).

En el sistema integrado por el suelo-planta-animal, cerca del 90% del fósforo se encuentra ubicado en el suelo y el 10% restante se encuentra entre las plantas y los animales, pero cabe destacar que de este 90% que se encuentra en el suelo solo una pequeña parte es asimilable por los seres vivos (Solera, J. M. 1999).

El fósforo se encuentra en el suelo ya sea en su forma orgánica, o como inorgánica, sin embargo, su solubilidad es baja. Existe un equilibrio de la parte sólida y el de la solución del suelo, este último es el fósforo que puede ser aprovechado por las plantas (Smart-fertilizer, sin fecha).

Cuando las raíces absorben fósforo de la solución de suelo, una parte del fósforo adsorbido en la fase sólida es liberado a la solución de suelo, buscando siempre el equilibrio químico del mismo. Todos los tipos de compuestos de fósforo que se logran encontrar dependen principalmente del pH del suelo. La mayoría de los

compuestos minerales que logra formar son de aluminio, hierro, manganeso y calcio. Cuando el pH del suelo es ácido, el fósforo reacciona con el aluminio, hierro y manganeso. En suelos alcalinos la fijación que se da, principalmente, es con el calcio. Este elemento aumenta su disponibilidad hacia las plantas en rangos de pH comprendidos entre 6 y 7 (Smart-fertilizer, sin fecha).

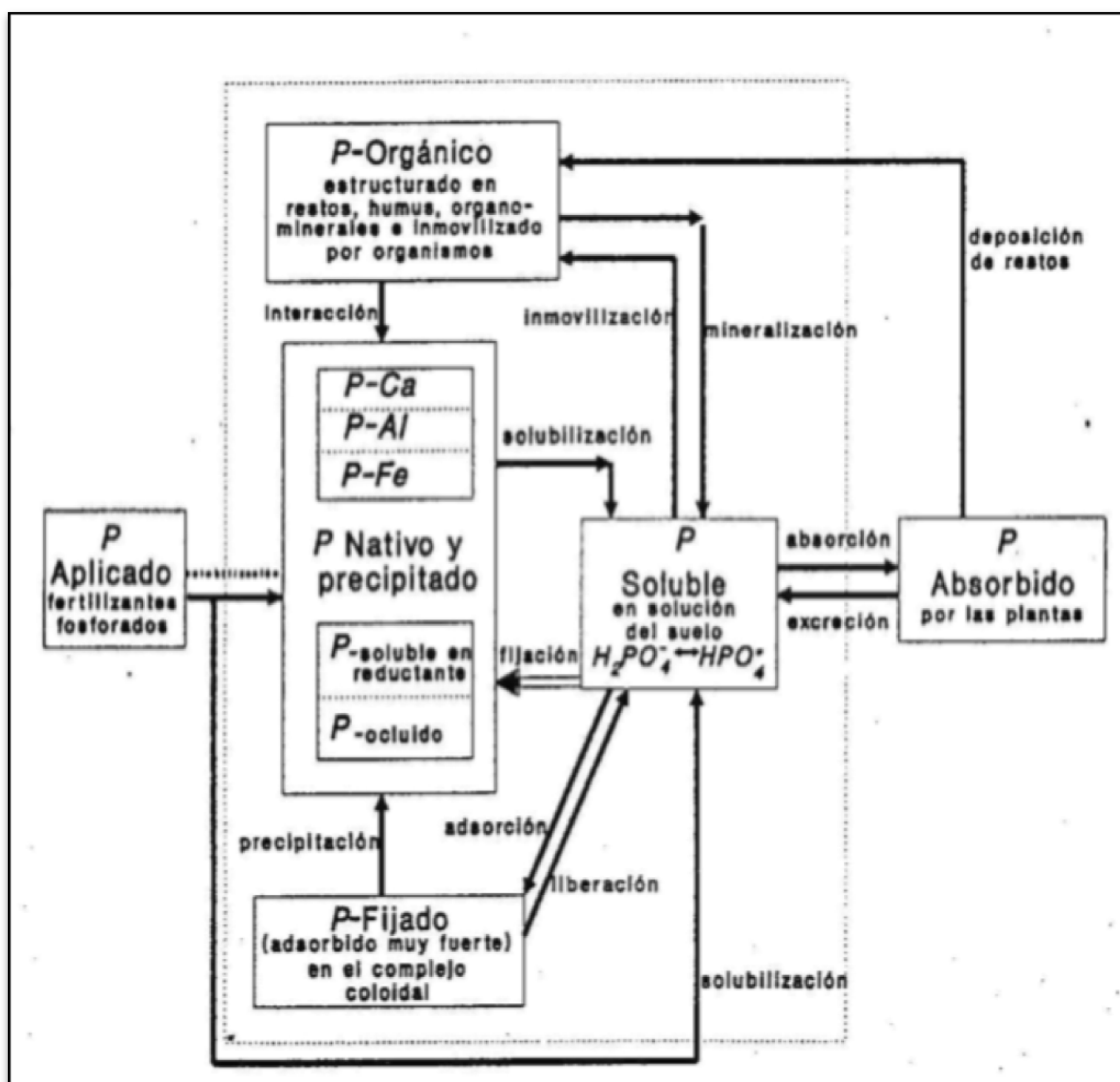


FIGURA 4. CICLO DEL FÓSFORO

Fuente: figura tomada de Cepeda 2010, citando a Bertsch 1995

En la imagen presentada en la página anterior se logra apreciar cómo se moviliza el fósforo en la naturaleza, las plantas logran aprovechar solo el fósforo soluble, es decir, el que se encuentra en la solución del suelo. El fósforo que logra entrar en la solución de suelo puede proceder de tres rutas distintas, ya sea por medio de mineralización del fósforo orgánico, con la liberación de fósforo que se encuentra absorbido en los coloides del suelo, o por el fósforo que es aplicado como fertilizante. La disponibilidad de este elemento está fuertemente influenciada por el pH del medio, ya que de este dependerá la cantidad que será fijada o liberada en el suelo (Solera, J. M. 1999).

Las plantas logran captar el fósforo en la solución de suelo como ion orto-fosfato  $\text{HPO}_4^{-2}$  o  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ , la forma en como se presente el fósforo absorbido se verá influenciada por el pH. La movilidad de este elemento es limitada, por lo que las plantas solo logran captar este de su entorno inmediato (Smart-fertilizer, sin fecha).

Todas las transformaciones sufridas por este nutriente en específico transcurren aproximadamente en un año. Es tomado del suelo por las plantas para así lograr producir biomasa y parte de este fósforo es devuelto con la reintegración de parte de esta, que es descompuesta por los microorganismos presentes en el suelo, que provocan una acumulación de fósforo orgánico (Smart-fertilizer, sin fecha).

Con el transcurso del tiempo parte de este fósforo orgánico es convertido por medio de mineralización y posteriormente se incorpora como fósforo soluble. Tanto el fósforo inorgánico, así como el orgánico poseen un punto en común: el fósforo soluble, esto provoca una competencia entre las dos fuentes de fósforo y de esta

forma el proceso de transformación de este nutriente en el suelo es ocluido y orgánico estable (Solera, J. M. 1999).

Dentro de la nutrición vegetal, son tres las fracciones principales en el suelo (Solera, J. M. 1999):

a- Fosfato en la disolución del suelo: Es el que se encuentra en la disolución del suelo.

b- Fosfato lábil: Es el que se encuentra retenido superficialmente, pero está en rápido equilibrio con el de la disolución del suelo. Se incluye el que es absorbido sobre las superficies de los minerales de la arcilla.

c- Fosfato no lábil: También conocido como fosfato insoluble. Esta libera muy lentamente fósforo a la fracción lábil.

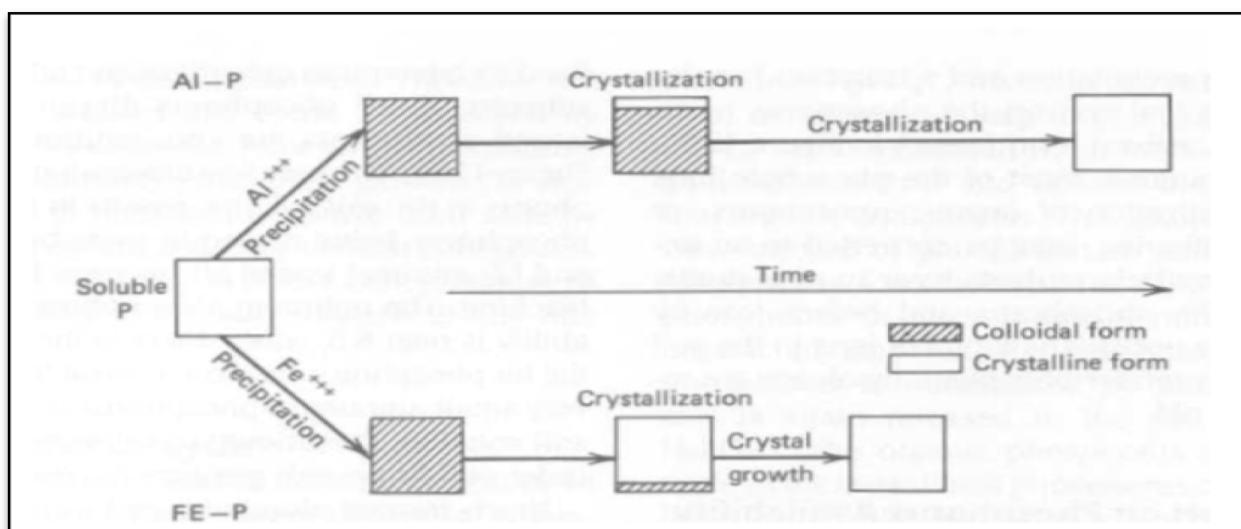


FIGURA 5. TRANSFORMACIÓN DEL FÓSFORO DE SUS FORMAS MÁS SOLUBLES A LAS MENOS SOLUBLES

Fuente: figura tomada de A. S. R. Juo, B. G. Ellis, 1968

Nota. Traducción de términos utilizados: Precipitation>Precipitación, Crystallization>Cristalización, Crystal growth>Crecimiento del cristal, Colloidal form> Forma coloidal, Crystalline form> Forma cristalina.

En la imagen presentada se pueden observar las alteraciones que sufre el fósforo soluble. A medida que aumenta la cristalización, el fósforo disponible disminuye debido a que existe una disminución en el área de superficie y este efecto se asocia con una menor solubilidad (Solera, J. M. 1999).

Es importante destacar que los microorganismos son de gran importancia en el proceso de solubilización del fósforo. Estos pueden ser bacterias, hongos y actinomicetos (Solera, J. M. 1999). Debido a varias razones, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- a- Logran alterar la solubilidad de los compuestos orgánicos del fósforo.
- b- Logran mineralizar los compuestos orgánicos de fósforo liberándolos en forma inorgánica.
- c- Usan fósforo inorgánico disponible para fabricar sus componentes celulares.
- d- Logran inducir procesos de oxidación y reducción de compuestos inorgánicos de fósforo.

#### **2.2.5.1.2. Respuesta del fósforo del suelo sometido a un incendio**

Las respuestas del fósforo disponible al quemado son variables y un poco más complicadas de predecir que la de muchos otros nutrientes (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005.).

El fósforo es un nutriente moderadamente sensitivo a la volatilización por la temperatura alcanzada en los incendios. Esta se encuentra ubicada a partir de los 774° C (Raison y otros 1985). El destino del fósforo volatilizado no se comprende bien. A través de un estudio se dijo que la única respuesta fue en la zona superficial del suelo y este elemento no pareció moverse hacia abajo, a perfiles más profundos

del suelo por medio de volatilización o condensación, como se observa en el caso del nitrógeno (DeBano 1991).

En un estudio anterior, realizado por (Grove y otros 1986), se encontró lo opuesto. Este estudio tenía la finalidad de medir las respuestas de todos los cationes principales, S, NH<sub>4</sub>, Zn, después de quemar la superficie de 0 a 3 centímetros de suelo. En sus estudios, las concentraciones de fósforo también respondieron a profundidades más bajas en el suelo, inclusive hasta dentro del rango de 10-20 centímetros. (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

Al igual que el nitrógeno, dependiendo de la severidad del fuego se afectan los cambios en el fósforo extraíble. Parte del fósforo volatilizado termina como un mayor fósforo en la superficie del suelo, así como en las cenizas, posterior a la quema (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

En un estudio que evaluaba las concentraciones de fósforo en un bosque de eucalipto, a diferentes intensidades de fuego, realizado por (Romanya y otros 1994), se encontró que los mayores efectos sucedieron en la superficie del suelo, dentro de (0 a 2,5 cm) y esta respuesta obtenida fue dependiente de la severidad del fuego. La concentración de fósforo extraíble era mayor a medida que aumentaba la severidad del fuego, pero esto disminuye con la profundidad, sin embargo, el fósforo orgánico reaccionó de una manera inversa, las concentraciones tienden a disminuir en áreas intensamente quemadas.

Solamente el 60% del total de este nutriente se pierde por transferencia no particulada cuando los combustibles son consumidos en su totalidad (Raison y otros 1985). El resultado de esto es una alta cantidad de fósforo que puede ser encontrado en las cenizas y en la superficie del suelo inmediatamente transcurrido el incendio.

Sin embargo, este nutriente no parece ser traslocado a horizontes más profundos, solo se queda cerca de la superficie (horizonte A) y las cenizas (DeBano y Klopatek 1988).

Es muy frecuente que el contenido de fósforo que se encuentra disponible para las plantas tienda a tener un aumento luego de un incendio (Raison 1979). Esto está fuertemente influenciado por la transformación que sufre el fósforo orgánico a fósforo inorgánico (Kutiel y Shaviv 1989), así como la incorporación de las cenizas al suelo, que se producen por la combustión del material vegetal presente a la hora del incendio (Carreira y Niell 1995).

(Solera 1999), nos dice que "Este incremento de fósforo en forma asimilable es el responsable de la efímera fertilidad que presentan los suelos tras los incendios".

Según (Kutiel y Naveh 1987), "el fósforo total se incrementa en un 300% en los dos meses posteriores al incendio". Se interpreta que todo el fósforo que se encuentra en el material vegetal se incorpora al suelo en forma de cenizas (DeBano y Conrad 1978).

Aproximadamente la mitad del fósforo de los materiales quemados, queda liberado en el suelo en forma de cenizas, posterior a la quema. Al ser lavada estas cenizas por las lluvias, tienen el efecto de elevar el contenido de fósforo asimilable en las capas superiores del suelo, a la vez que la enriquecen, aunque cabe destacar que este aumento en el contenido de fósforo es temporal y con el pasar del tiempo, propiciado por la erosión producto de las lluvias provocan que este elemento decrezca rápidamente y el suelo se empobrece y llega inclusive a niveles mucho menores que los originales antes del incendio. (Bandy, D., Garrity, D., Sánchez, P. 1994).

El fuego logra afectar la actividad enzimática y la mineralización de fósforo. En un estudio publicado por (Saa y otros 1993), se logró observar que cuando las temperaturas en el piso de bosque de la quema controlada eran menores de 50° C, las concentraciones de fósforo extraíble no lograron cambios significativos, pero en un incendio forestal, en el cual se logran temperaturas mucho más altas, se observó la reducción de la enzima fosfatasa y se incrementó la mineralización del fósforo orgánico y con esto se logró un incremento en el orto-fosfato y se disminuyó el fósforo orgánico. Con los experimentos de laboratorio se comprobó que la actividad de la fosfatasa se logra reducir considerablemente en los suelos secos al ser sometidos a un calentamiento (DeBano y Klopatek 1988).

Aunque según estudios realizados por (Ribeiro, A., Adams, C., Sereni, R. 2013), indican que se necesita analizar más este elemento, debido a que los estudios varían respecto a la disponibilidad o no disponibilidad de este elemento en específico, en la fase del cultivo.

Estos nutrientes pueden estar disponibles hasta un máximo de dos años transcurridos desde el aclareo. De esta manera, (Okigbo, Seubert et al., Lal et al. citados por Bandy, D., Garrity, D., Sánchez, P. 1994), afirman que: ``La cantidad y calidad de estos nutrientes depende de la fertilidad natural del suelo``.

#### **2.2.5.2 Cambios en el contenido de potasio**

Aunque este nutriente juega varios papeles en la nutrición vegetal, no se encuentra en la estructura de compuestos orgánicos, sin embargo, está en forma iónica en la solución de la célula o actúa a modo de activador de enzimas celulares. Tiene papel

en la síntesis y la acumulación de proteínas y carbohidratos (Sanzano, Agustin; sin fecha).

Además aumenta la resistencia a las sequías, influye en la calidad de frutos y granos y ayuda en la resistencia de enfermedades (Sanzano, Agustin; sin fecha).

Este nutriente es absorbido en grandes cantidades, solamente es superado por el nitrógeno. Aunque este nutriente no presenta problemas de disponibilidad en la mayoría de suelos (Sanzano, Agustin; sin fecha).

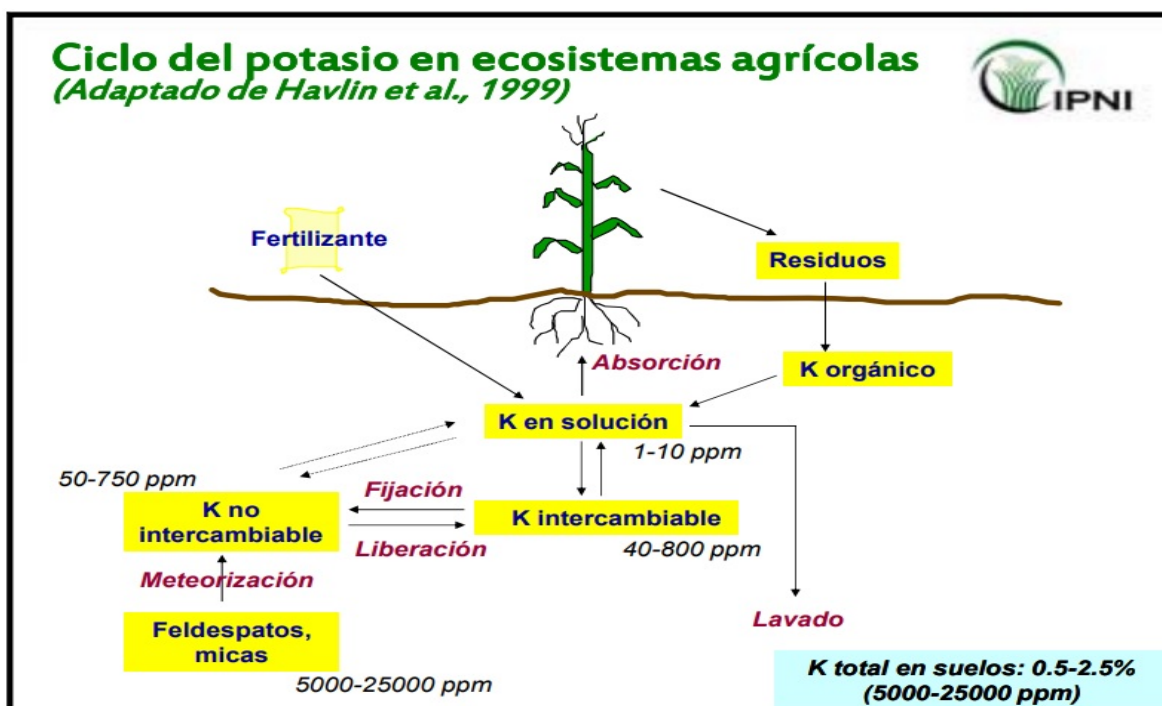


FIGURA 6. CICLO DEL POTASIO  
Fuente: figura tomada de sintrainduscafe.org

En la figura se logra apreciar los distintos mecanismos por los cuales entra potasio al sistema, ya sea a través de la aplicación de fertilizantes, residuos de cosecha,

además del que aporta la meteorización. Además se observan las vías por las cuales este potasio deja de estar disponible para las plantas, como por ejemplo: lavado y fijación.

En la corteza de la Tierra, existe un contenido promedio de potasio de 2.6 %. En el material parental y suelos jóvenes, fácilmente podrían tener en la capa de arado aproximadamente 40000 a 50000 libras por hectárea. Casi todo este potasio se deriva de los siguientes minerales (Henry D. Foth, 1990):

Feldespatos: microclina, orthoclasa.

Micas: muscovitas, biotitas

El potasio contenido en las micas, principalmente la biotita, se libera mucho más rápido que en los fedespatos. En cuanto a los fedespatos, estos tienden a existir como partículas más grandes que las micas (Henry D. Foth, 1990).

#### **2.2.5.2.1 Formas del potasio en el suelo**

Según (Sparks, Donald L. Sin fecha). El potasio en el suelo existe en cuatro formas: potasio en solución, potasio fijo o no intercambiable, potasio intercambiable y potasio estructural o mineral.

El potasio en solución es el que las plantas absorben directamente, además es la forma que más fácilmente se lixivia. Por lo general se presenta en niveles bajos.

El potasio intercambiable no es más que el potasio unido electrostáticamente a la superficie de arcillas y otras sustancias húmicas, fácilmente intercambiable con otros cationes y también se encuentra disponible para las plantas.

El potasio no intercambiable es el que se mantiene entre capas tetraédricas adyacentes de micas dioctaédricas y trioctahédricas, vermiculitas y minerales de

arcilla intergradados. Este potasio se vuelve fijo por la razón de que la fuerza de unión entre el potasio y las arcillas es mayor que las fuerzas de hidratación entre los iones individuales de potasio. Esto trae como consecuencia el colapso parcial de las estructuras cristalinas y los iones de potasio se atrapan físicamente en diversos grados, produciéndose una liberación lenta del mismo.

Potasio mineral: La mayor parte del potasio se encuentra en esta forma, principalmente, en minerales primarios que lo contienen como lo son: moscovita, feldespatos, biotitas. Se supone que esta lentamente disponible para las plantas, pero depende de factores como: la disponibilidad de las otras formas de potasio, el grado de meteorización.

#### **2.2.5.2.2 Relación entre el potasio y el fuego**

Se dice que el potasio se reduce luego de un incendio por diversas causas dentro de las cuales están: oxidación, volatilización, transporte de cenizas, lixiviación y erosión. En un estudio con un incendio de baja intensidad se redujeron las reservas de nutrientes en el sotobosque y el suelo forestal, el potasio redujo sus reservas dentro de un 31-34 %, sin embargo la disponibilidad a menudo aumenta, al igual que la fertilidad, aunque este aumento es temporal (NAU, US. Sin fecha).

Algunas dinámicas son más sensibles que otras. Por lo general la concentración de iones de potasio puede aumentar o no verse afectada. Aunque esto varía dependiendo principalmente de la intensidad del fuego. Por regla general se dice que existe mayor pérdida de nutrientes a mayor intensidad. Esta regula la volatilización de nutrientes (NAU, US. Sin fecha).

(Afif K, E; Oliveira P, J.A. 2006), encontraron que el potasio aumenta generalizadamente en sus concentraciones hasta los 30 días posteriores a la quema, aunque se señala que si no existe suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración del potasio se verá reducida a corto plazo luego del incendio.

### 2.2.5.3 Cambios en el contenido de nitrógeno

Este nutriente es considerado el más limitante en los ecosistemas, producto de que no se suministra al suelo por erosión química de la roca parental como es el caso de los demás. Casi todo el nitrógeno que está presente en la vegetación, el sistema de suelo, etc, debe agregarse desde la atmósfera (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

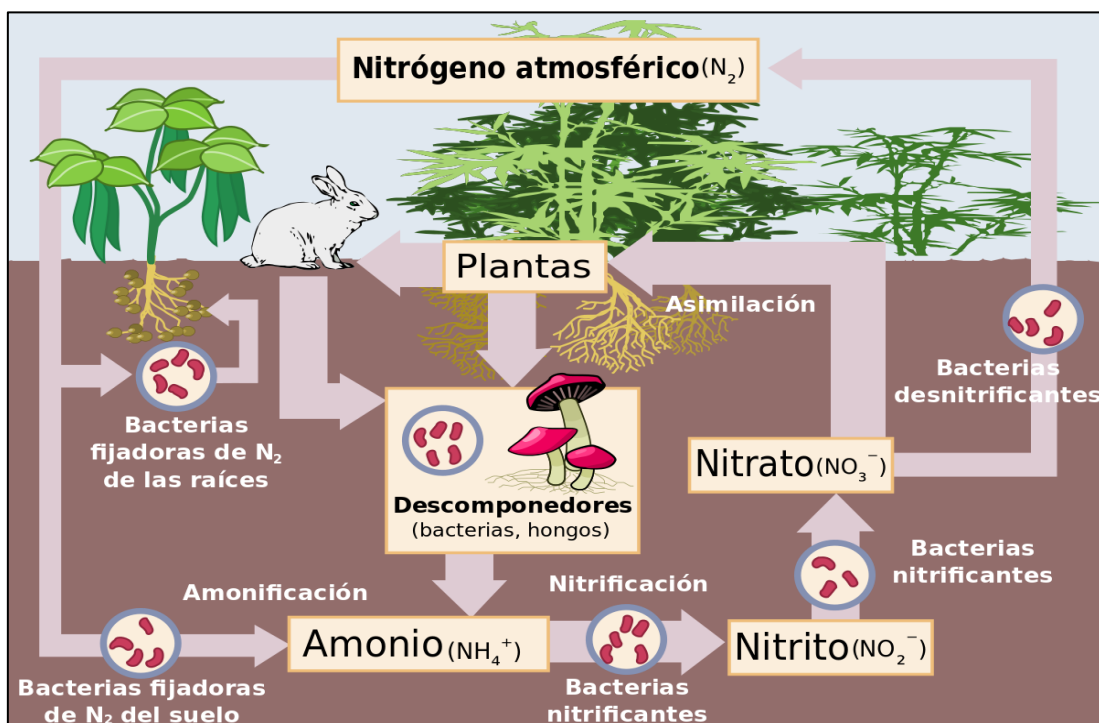


FIGURA 7. CICLO DEL NITRÓGENO

Fuente: figura obtenida de [Wikipedia.org/wiki/nitrógeno](https://es.wikipedia.org/wiki/nitr%C3%B3geno)

En la imagen se observa como entra el nitrógeno al sistema suelo, para que sea aprovechado por la planta. Este nutriente puede entrar al sistema en forma de fertilizante o por medio de los residuos de cosecha. Además existen ciertos tipos de bacterias capaces de fijar el nitrógeno atmosférico directamente al suelo y de esta manera, este esta disponible para las plantas.

La volatilización es el proceso al que se le atribuye mayor importancia en la pérdida de este nutriente durante un incendio. A medida que la temperatura aumenta, también lo hacen las pérdidas de este nutriente (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005):

- Pérdida completa del nitrógeno a temperaturas superiores a los 500° C.
- Del 75 al 100 % con temperaturas entre 400 y 500 ° C.
- De 50 a 75 % con temperaturas entre 300 y 400 ° C.
- De 25 a 50 % con temperaturas entre 200 y 300 ° C.
- No existen pérdidas con temperaturas inferiores a los 200 ° C

Como regla general se dice que la cantidad de nitrógeno perdido es proporcional a la materia orgánica destruida por el fuego. Se estima que el nitrógeno perdido es convertido a nitrógeno gaseoso y de esta manera se volatiliza (Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005).

#### **2.2.5.3.1 Relación entre el nitrógeno y el fuego**

Cuando existe fuego se interrumpen los ciclos de los nutrientes entre ellos, toma importancia el de nitrógeno (Solera, J. M. 1999).

Dentro de los efectos que ocasiona el fuego en este elemento está la volatilización y oxidación del nitrógeno orgánico acumulado por el humus (Guerrero 1998). Este tipo

de nitrógeno posee una baja temperatura de volatilización (Solera, J. M. 1999). El fuego provoca efectos negativos bajando la disponibilidad del nitrógeno, esto trae como consecuencia una disminución en la fertilidad del suelo (Ribeiro, A., Adams, C., Sereni, R. 2013).

Algunos efectos se presentan de manera indirecta que son producidas por las alteraciones físicas que sufre el suelo, modificando directamente el ciclo de nitrógeno (Solera, J. M. 1999).

Según (Prieto et al. citado por Solera, J. M. 1999), "El nitrógeno orgánico, fácilmente biodegradable, disminuye y parte de esta fracción se transformará inicialmente en amoníaco", sin embargo, (Martinez Sánchez 1994) indica que: "en ocasiones en incendios aéreos se puede producir un aumento de nitrógeno total por incorporación de restos vegetales en forma de cenizas semipirolizadas", según lo mencionado anteriormente se puede pensar que el fuego produce un aumento en el nitrógeno que se puede utilizar en el suelo, pero este aumento es temporal (Solera 1999). En conclusión, se puede decir que el fuego, descompone la materia orgánica, provocando la liberación de iones de amonio, que son responsables del aumento de este elemento en el suelo (Hernández et al. 1997). Además también se libera amonio del suelo amoniacal y parte de este nitrógeno se volatiliza (Solera 1999). Luego de transcurrido un tiempo después del incendio, se elevan los niveles de nitratos en el suelo, por el aumento de la actividad bacteriana, el aumento del pH, la concentración de nutrientes y la temperatura del suelo, que se ve favorecida por el escurecimiento de cenizas de su superficie (Solera 1999).

Pero esto no es motivo para pensar en que se mejoró la fertilidad nitrogenada del suelo, ya que además de las pérdidas del  $\text{NH}_3$  gaseoso, hay que mencionar también

el del  $\text{NO}_3$  por motivo de su excesiva solubilidad, su propia disolución en el suelo, así como por el impacto posterior de las lluvias, que propician su arrastre fuera de los sistemas edáficos (Dudley y Lajtha 1993).

Además, existe documentación de casos, en los que se da un descenso en la disponibilidad de nitrógeno, junto con otros nutrientes (Raison et al. 1985). (Solera 1999) menciona que ``Parámetros como la frecuencia y la intensidad de los incendios son altamente relevantes en la dinámica del nitrógeno en el suelo``.

#### **2.2.5.4 Cambios en el contenido de micronutrientes**

Al nivel de los micronutrientes, estos también se ven afectados tanto en cantidad como en la forma en que se presentan. Luego de un incendio se ha visto un incremento en los microelementos, principalmente, debido al aporte por parte de la incineración de la materia vegetal (Solera, 1999), aunque también por las modificaciones que sufre la materia orgánica en el suelo (Solera 1999), produciendo un efecto positivo, ya que las bases superan los requerimientos de los cultivos, producto de las cenizas (Ribeiro, A., Adams, C., Sereni, R. 2013). (Solera 1999), ``Uno de los microelementos que más se ve modificado con un notable incremento es el manganeso``. En altas concentraciones, el manganeso puede ser, fisiológicamente tóxico para la vegetación, además de presentar un antagonismo con el Fe (Kabata-Pendias y Pendias 1984).

Existen informes limitados en los que se dice que posterior a un incendio, las concentraciones de hierro y aluminio tienden a aumentar de acuerdo al nivel de severidad del fuego (Mehdi Norouzi and Hassan Ramezanpour, 2013), aunque el estudio de cómo el fuego afecta la disponibilidad de microelementos es muy limitado.

Como en los casos anteriores, se puede decir que los elementos liberados en el suelo en forma de cenizas son altamente lavables por efecto de viento, lluvia, etc. Lo que repercute en un empobrecimiento del suelo posterior al incendio (Solera, 1999). Se puede asegurar que tras los incendios, toda la materia orgánica proveniente de la vegetación se mineraliza y enriquece al suelo en forma de nutrientes incrementando la fertilidad inicial del mismo, debido a que se produce un mayor aporte porque las raíces se mueren y el menor gasto de la vegetación superviviente, pero la mayor parte de estos nutrientes se pierden en muy corto tiempo, la gran mayoría se pierde en la atmósfera producto de la combustión y otros en aguas por escorrentía (Blueberries 2017).

### 3.0 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se llevó a cabo en el proyecto Establecimiento de Germoplasma de Árboles Frutales de Panamá, ubicado en la parcela 11B del Centro de Enseñanza e Investigación de Chiriquí (CEIACHI) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, en el corregimiento de Chiriquí, provincia de Chiriquí, República de Panamá, ubicado dentro de las coordenadas Lat. norte: 8.398364, Long. oeste: -82.336798. El mismo se encuentra aproximadamente a 20 metros sobre el nivel del mar.



FIGURA 8. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO  
Fuente: figura obtenida de Google Maps

### **3.2 Preparación a la parcela**

Esta parcela fue limpiada utilizando machetes durante la estación seca (marzo, 2017) en la que posteriormente se realizó una quema controlada durante el mes de abril.

Los plántones del proyecto se sembraron con el inicio de la estación lluviosa (mayo-junio). Al momento de la siembra se fertilizaron con una mezcla de abono químico y orgánico en el fondo del hoyo.

Después de esta siembra, se establecieron cultivos de autoconsumo como los siguientes: maíz, arroz, guandú, zapallo, yuca, ñame, otoi. Para la realización de la misma, se utilizaron variedades criollas, utilizando los métodos tradicionales del productor de subsistencia.

### **3.3 Unidades experimentales**

La parcela experimental se dividió en dos partes. En una no se aplicó ningún tipo de abono, parcela experimental 1. En la otra, se abonó con una pequeña cantidad de fertilizante químico, específicamente abono completo 12-24-12, aproximadamente en una cantidad entre 3 a 5 gramos, alrededor de los cultivos asociadas al proyecto del banco de germoplasma de árboles frutales, parcela experimental 2.

La mano de obra de estos cultivos fue llevada por colaboradores, ex- funcionarios jubilados de la institución, mediante un convenio de aparcería entre estos con la Universidad de Panamá.

En este terreno, de aproximadamente mil metros cuadrados, se colectaron muestras de suelo el día 4 de abril de 2017, tres días antes de la quema, para determinar y observar la concentración de los nutrientes esenciales antes del incendio. Esta muestra se colectó tanto en la parcela experimental, como en la que se utilizó como

testigo (sin embargo, no se utilizó ya que el fuego irrumpió en la parcela testigo, por lo que se ubicó otro lugar con condiciones similares). El objetivo de la parcela testigo era tener un patrón con que comparar los cambios en la concentración de los nutrientes. Este testigo está ubicado cerca de la parcela experimental, en un bosque sin intervenir.

### **3.4 Colecta de muestras y método de muestreo**

Se colectaron muestras cuatro días después de la quema, para observar si existe una variación en la concentración de los nutrientes esenciales para el desarrollo normal de los cultivos.

El siguiente muestreo se realizó cuando se establecieron las lluvias, para determinar el aporte de nutrientes esenciales por parte de las cenizas una vez estas se infiltran en el suelo.

Posteriormente se realizó un muestreo mensualmente, una vez se establecieron los cultivos de autoconsumo para observar la dinámica de estos nutrientes fundamentales por un periodo de 8 meses (fase inicial del estudio).

A partir del mes de agosto, la parcela experimental se dividió en dos unidades de 500 metros cuadrados, en una de las dos se aplicó abono químico, específicamente abono completo 12-24-12. Cabe destacar que en el mes de julio no se tomó muestra del testigo y que las muestras de la parcela experimental 2 se toman a partir de agosto ya que antes se consideraba como una sola junto con la parcela experimental 1.

El método de muestreo utilizado fue el de zigzag, a una profundidad de 0-15 cm, zona donde se desarrolla el sistema radicular de la mayoría de los cultivos anuales.

Las muestras fueron compuestas de sub-muestras, que luego serían homogenizadas, para que se lograra considerar toda la parcela. Estas muestras fueron secadas a temperatura ambiente, durante cuatro días aproximadamente, para eliminar la humedad, posteriormente llevadas al invernadero del Departamento de Suelos y Aguas, para su tamizado y posterior empaque, para realizar el análisis físico-químico de acuerdo a los protocolos para el análisis de cada nutriente.

Los análisis de estas muestras se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Panamá, en el Campus Central.

Además, se llevó el registro de precipitación durante el ensayo. Este registro se tomó de la estación meteorológica ubicada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en Chiriquí.

CUADRO I. METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO PARA DETERMINAR LOS COMPONENTES A EVALUAR

Análisis	Método
Textura (Granulometría)	Hidrómetro (método de Bouyoucos)
pH	Potenciometría (1:2.5 en agua)
CICE	Sumatoria de Ca + Mg + A l+ K en Meq/100 gr.
% de Saturación de Bases	$\Sigma$ bases/CICE * 100
N (Nitrógeno)	Estimación de nitrógeno a partir de la materia orgánica mineralizable
P (Fósforo)	Espectrofotometría de color-colorimetría (carolina del norte-Molibdato de Amonio y Ácido Ascórbico)
Materia Orgánica	Walkley y Black (Oxidación con Dicromato de Potasio)
Al (Aluminio)	Extracción con KCl (Titulación Ácido-Base)
Al + H (Acidez)	Extracción con KCl (Titulación Ácido-Base)
Ca (Calcio)	Extracción con la solución Carolina del Norte (Espectrofotometría de Absorción Atómica)
Zn (Zinc)	
Mg (magnesio)	
Fe (Hierro)	
K (Potasio)	
Cu (Cobre)	
Na (sodio)	
Mn (Manganeso)	

Fuente: datos obtenidos de la F.C.A. sede Chiriquí

### 3.4 Análisis de datos

El diseño experimental empleado fue el diseño completamente al azar, al ser la parcela experimental similar en su extensión. El análisis estadístico se basó en la prueba ANOVA con una sola variable a evaluar, además del apoyo del análisis de regresión a la hora de evaluar ciertas relaciones entre algunas propiedades del suelo. Los parámetros a evaluar fueron las concentraciones de los nutrientes

fundamentales para el normal desarrollo de un cultivo, además de propiedades físicas como la textura y químicas como el pH, CICE, % de saturación de bases y materia orgánica.

El programa informático utilizado para la prueba ANOVA fue excel con su herramienta de análisis de datos con un intervalo de confianza del 95%.

## 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 GRANULOMETRÍA

Según los resultados obtenidos, la proporción de arena sufre un incremento en las parcelas que fueron quemadas que se ve plasmado en las gráficas, específicamente en el mes de mayo, cuando las lluvias se establecieron en el área de estudio. La parcela testigo se comporta de una manera constante a lo largo del estudio. La aplicación de fertilizante no influyó directamente en la variación de las proporciones de la arena en las parcelas experimentales ya que ambas conservan valores similares.

CUADRO II. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE ARENA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN PORCENTAJE

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	29.85	*
4/11/17	*	28	*
5/8/17	46.43	41.25	*
6/8/17	48.63	43.96	*
7/7/17	*	39.76	*
8/8/17	49.29	43.28	49.26
9/8/17	46.88	34.84	43.52
10/10/17	48.95	42.85	42.14
11/13/17	39.80	42.85	40.18
12/6/17	47.55	40.89	40.10

Fuente: cuadro elaborado por el autor

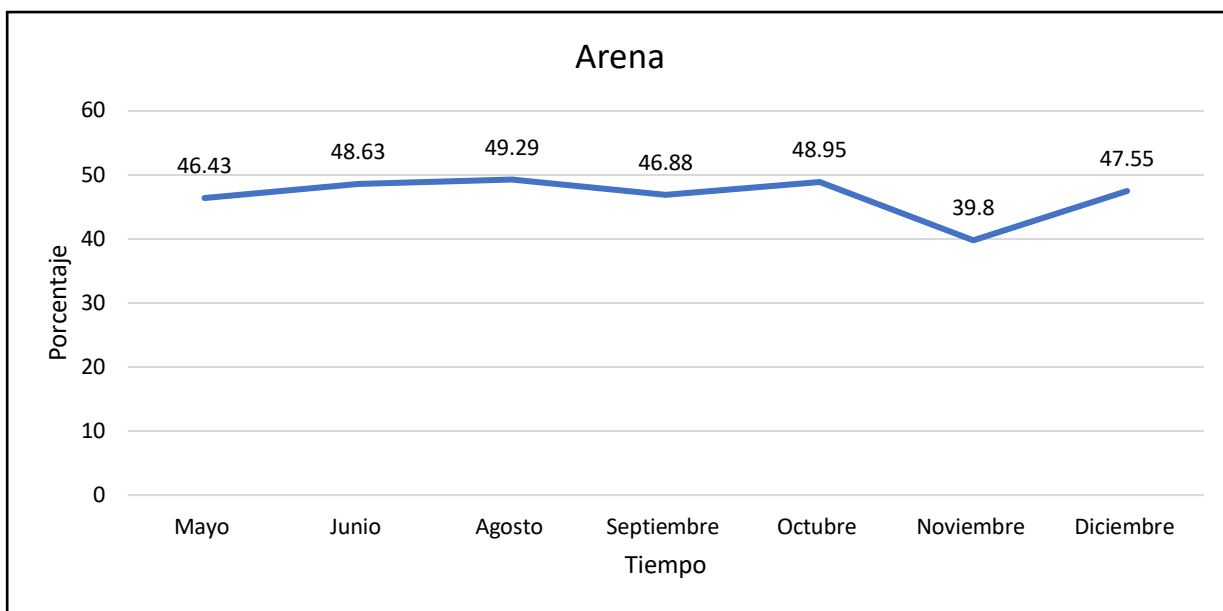


FIGURA 9. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

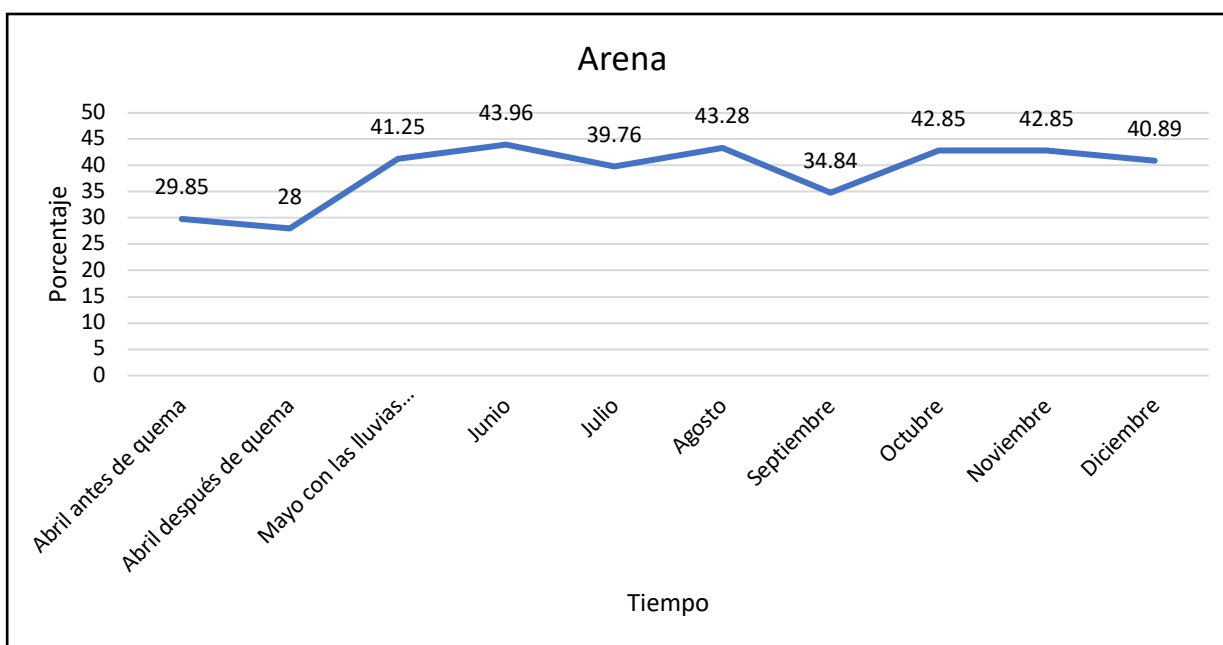


FIGURA 10. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

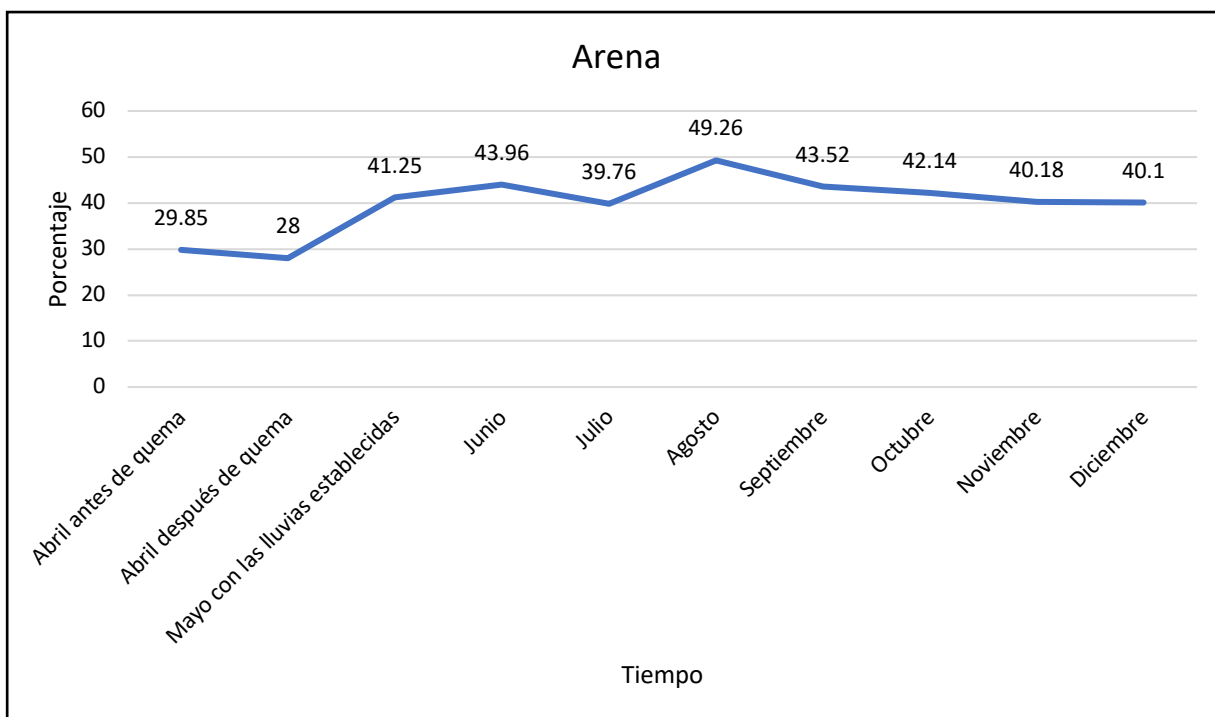


FIGURA 11. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARENA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	298.14	2	149.07	4.87*	0.07	3.40
Error	733.76	24	30.57			
Total	1031.90	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Experimental 1	38.75	A
Experimental 2	39.80	A
Testigo	46.79	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

El resultado obtenido en el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la proporción de arena en las parcelas estudiadas en el experimento.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo dicho por (Ulery y Graham, 1993), en la cual informan que altas temperaturas provocan una descomposición en las arcillas de los suelos y esto trae como consecuencia la liberación de compuestos amorfos de silicio y aluminio, que actuarían como cementantes de partículas, provocando un aumento de la proporción de arena en los suelos.

CUADRO III. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE LIMO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN PORCENTAJE

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	**	41.14	*
4/11/17	*	40.35	*
5/8/17	40.37	40.06	*
6/8/17	35.14	40.03	*
7/7/17	*	40.52	*
8/8/17	38.79	39.97	34.18
9/8/17	40.25	41.93	38.79
10/10/17	38.01	39.26	42.44
11/13/17	44.39	41.93	44.60
12/6/17	42.44	41.43	42.22

Fuente: cuadro elaborado por el autor

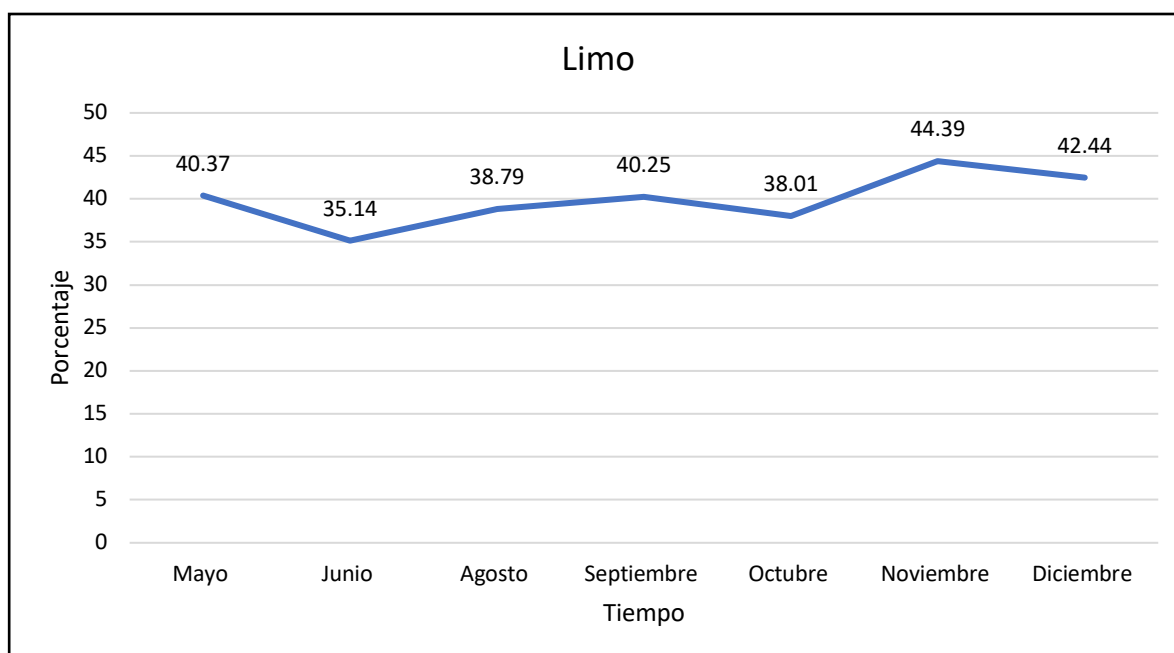


FIGURA 12. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

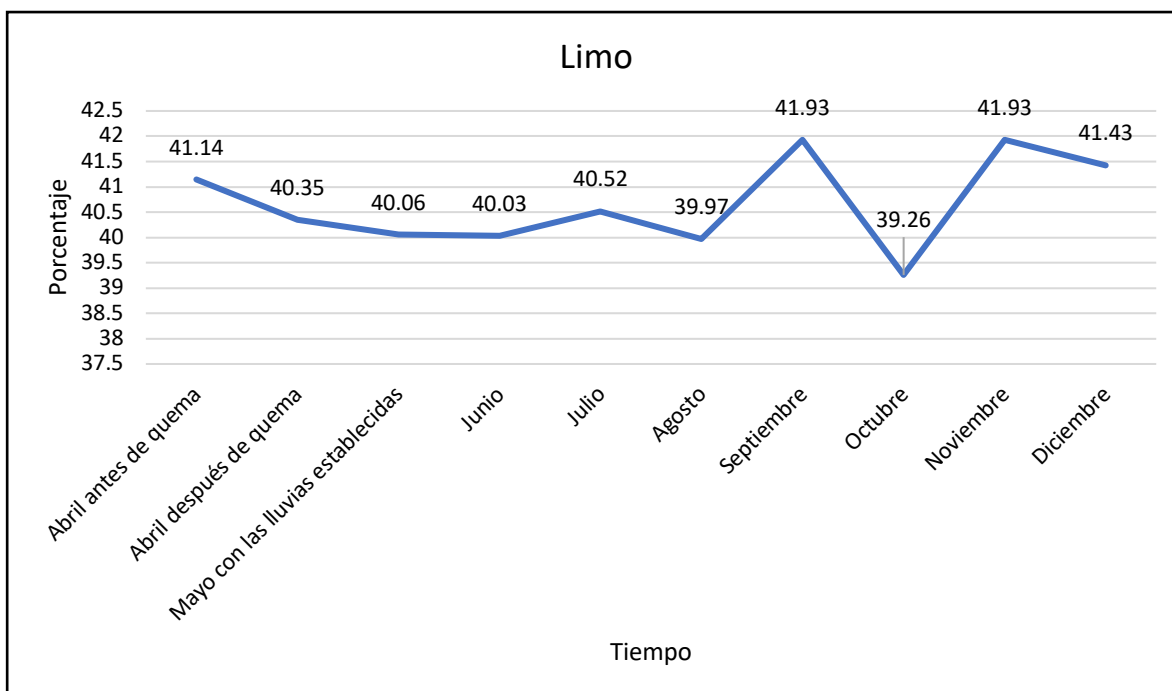


FIGURA 13. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

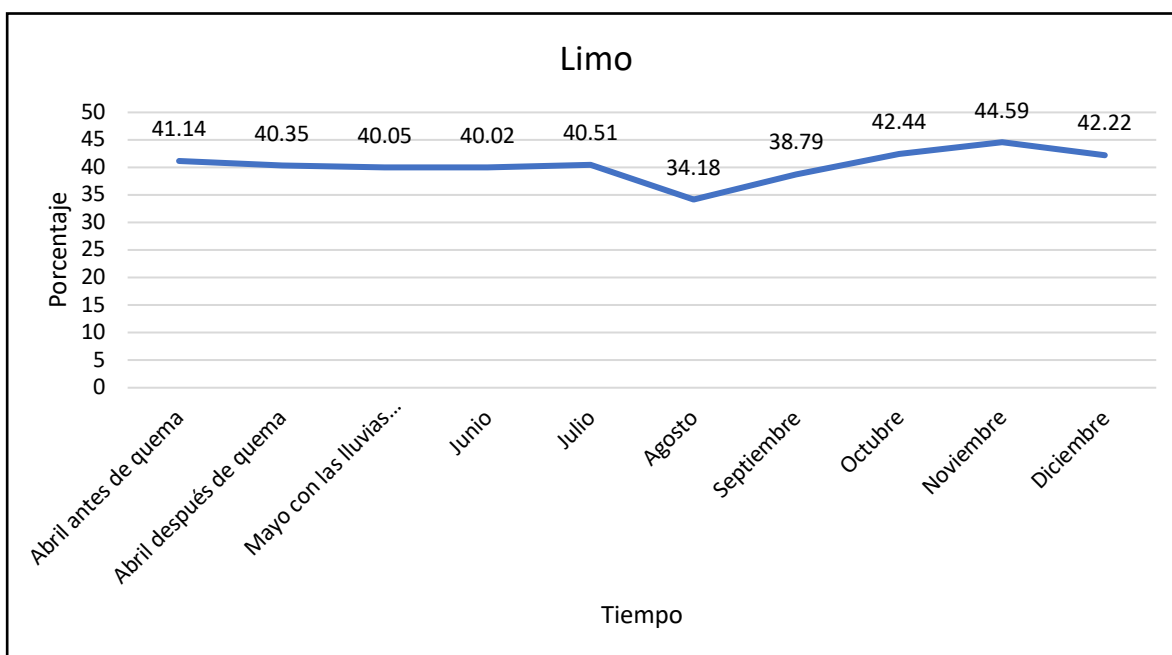


FIGURA 14. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LIMO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	2.35	2	1.17	0.22 ns	0.80	3.40
Error	128.97	24	5.37			
Total	131.32	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Según los resultados obtenidos en el análisis de varianza, no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la variación de las proporciones de limo en el suelo de las parcelas estudiadas. En la parcela testigo, los valores se comportan de una manera constante, al igual que en las parcelas experimentales. El fuego no es un factor que afecte directamente la proporción de esta fracción del suelo.

Estos resultados se pueden comparar con lo encontrado por (Beyers et al., 2008), en la que informan que tanto el limo como la arena, requieren temperaturas superiores a los 1414° C para que ocurran modificaciones en las mismas y afecten de manera directa la proporción de limo en el suelo, y estas situaciones no se dan comúnmente. Principalmente se observa en los primeros centímetros del suelo.

CUADRO IV. VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE ARCILLA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN PORCENTAJE

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	29.01	*
4/11/17	*	31.65	*
5/8/17	13.19	18.69	*
6/8/17	16.22	16.01	*
7/7/17	*	19.72	*
8/8/17	11.92	16.75	16.56
9/8/17	12.87	23.23	17.68
10/10/17	13.04	17.89	15.41
11/13/17	15.81	15.22	15.22
12/6/17	10.00	17.68	17.68

Fuente: cuadro elaborado por el autor

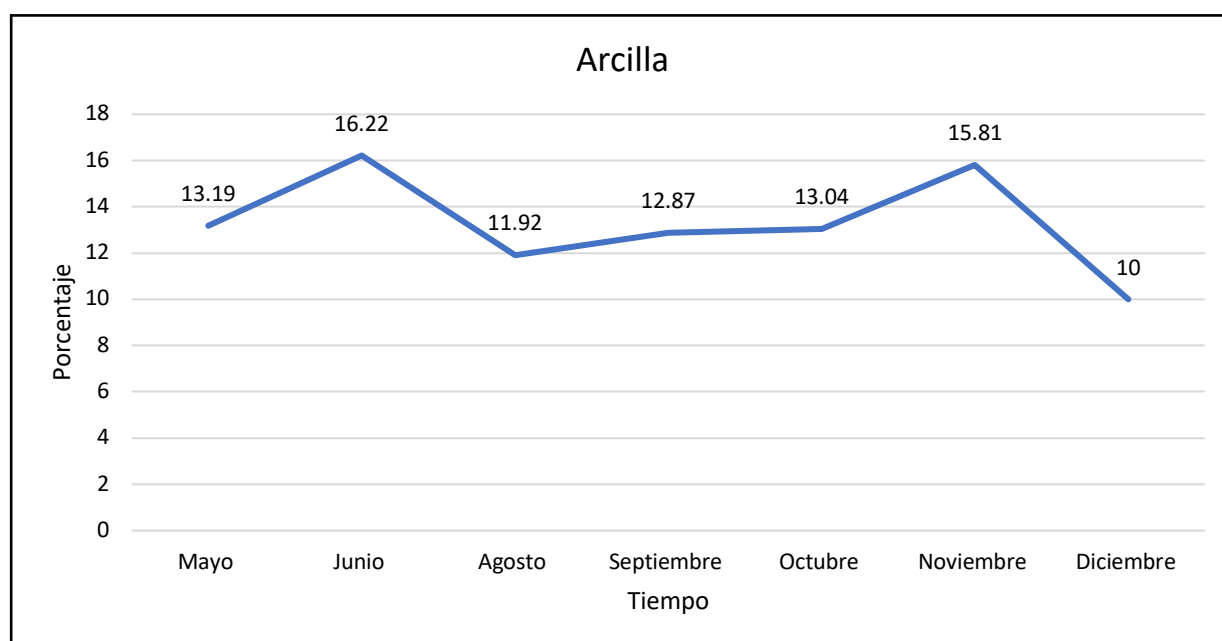


FIGURA 15. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

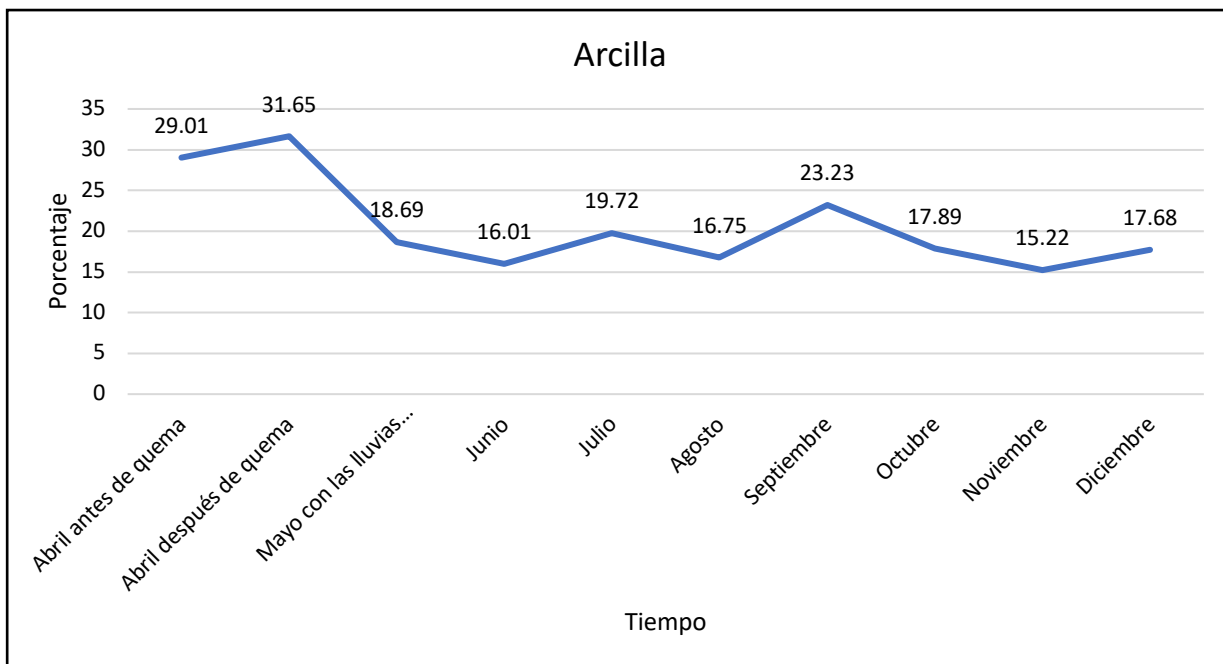


FIGURA 16. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL

Fuente: figura elaborada por el autor

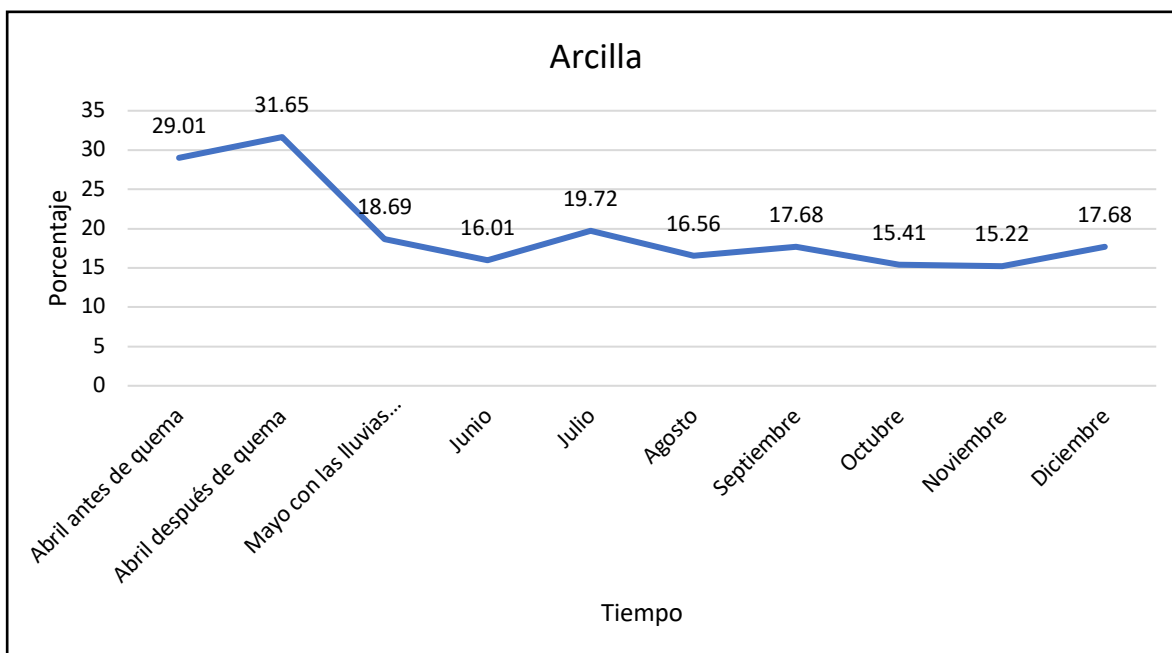


FIGURA 17. EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	248.90	2	124.45	4.87*	0.02	3.40
Error	613.33	24	25.55			
Total	862.23	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Experimental 1	20.58	A
Experimental 2	19.76	A
Testigo	13.29	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

En el análisis de varianza aplicado, se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Esto influenciado por el uso de la quema.

Se puede observar una disminución en la proporción de arcilla, que se logra ilustrar en las gráficas a partir del mes de mayo con las lluvias establecidas.

Esta fracción disminuye potencialmente influenciada por arrastre de las partículas que son fácilmente erosionables, además de las modificaciones sufridas por efecto del fuego. Concordando con los resultados obtenidos por (Beyers et al., 2008), donde informa que la fracción de suelo más sensible a los cambios por efecto de la temperatura es la arcilla. Su modificación inicia a los 400° C, a esta temperatura la hidratación de la arcilla y su estructura empieza a colapsar. Una vez alcanzada una

temperatura entre 700 y 800 °C, la estructura interna es completamente destruida. Además, con las altas temperaturas se provoca una descomposición en las arcillas y estas liberan compuestos amorfos de silicio y aluminio, que actuarían como cementantes de partículas, trayendo como consecuencia el aumento de la fracción de arena y la disminución de la fracción arcillosa (Ulery y Graham, 1993).

#### 4.2 pH Y ACIDEZ

CUADRO V. VARIACIÓN DEL pH EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	5.27	*
4/11/17	*	4.76	*
5/8/17	4.71	5.18	*
6/8/17	4.51	4.6	*
7/7/17	*	4.68	*
8/8/17	4.53	4.61	4.54
9/8/17	4.6	4.79	4.77
10/10/17	4.59	4.84	4.5
11/13/17	4.48	4.62	4.58
12/6/17	4.37	4.49	4.38

Fuente: cuadro elaborado por el autor

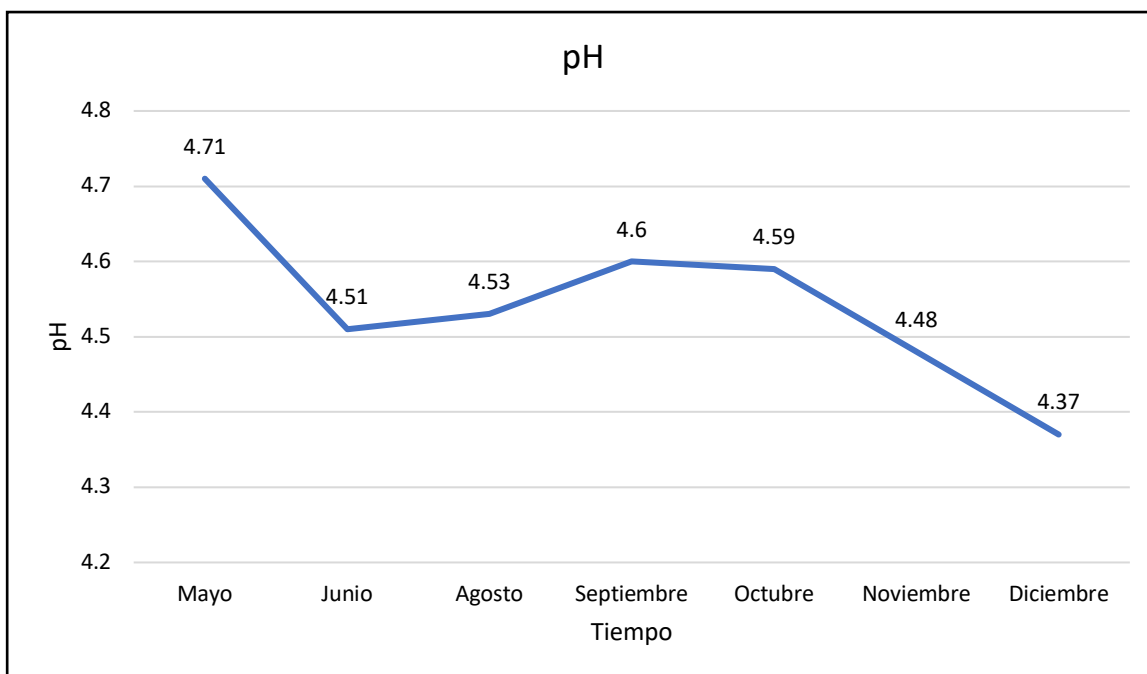


FIGURA 18. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA TESTIGO  
Fuente: figura elaborada por el autor

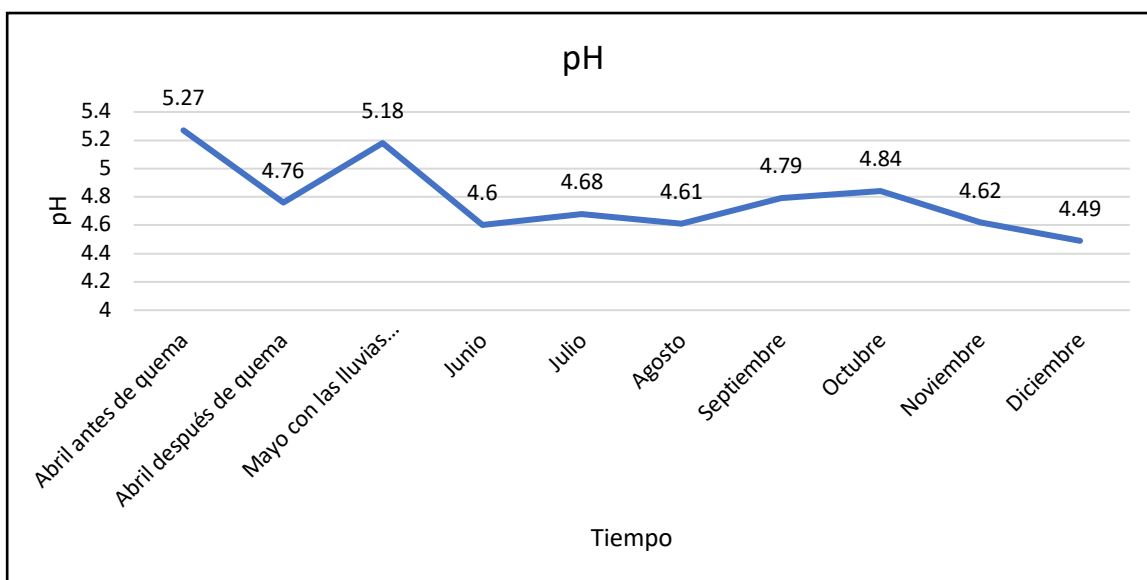


FIGURA 19. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

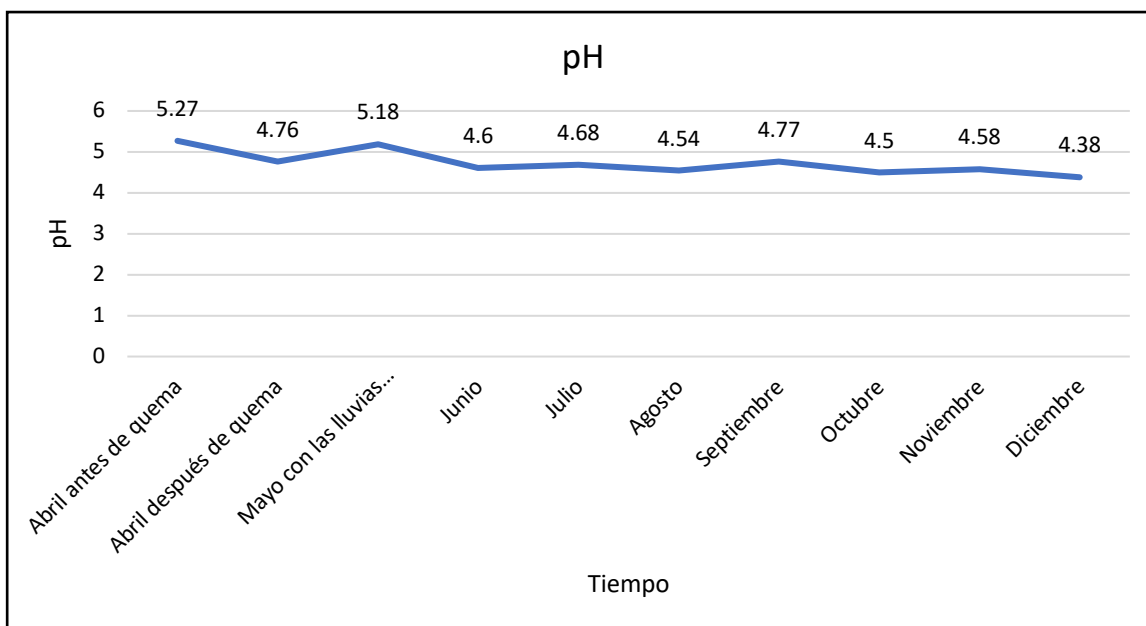


FIGURA 20. EVOLUCIÓN DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	0.25	2	0.13	2.17 ns	0.14	3.40
Error	1.40	24	0.06			
Total	1.66	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Según los resultados obtenidos en el análisis de varianza, no existen diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, si se logra observar una tendencia de un pH a la baja, comparado con los valores obtenidos inicialmente antes de la quema. Se puede observar en las parcelas experimentales que el fuego provocó una disminución en el pH en el transcurso de 7 días. Luego una vez establecidas las

lluvias, este pH aumenta levemente, sin embargo, no más allá de los valores obtenidos antes del incendio. Luego se puede observar como el pH regresa a valores parecidos a los obtenidos 7 días después de la quema y se mantiene en este rango por el resto del ciclo de estudio.

En la parcela experimental 2 se logra observar un pH un poco más bajo, tal vez debido a la influencia del uso del fertilizante como lo describe (Lupi, Ana María; 2001), que cuando se aplica un fertilizante que contenga nitrógeno, el proceso de nitrificación libera iones de hidrógeno que pueden lograr un efecto acidificante. Así como lo describe (González et al. 1996), la acidez del suelo se verá reducida, con esto el pH del mismo aumenta hacia la alcalinidad, por el aporte de cationes básicos contenidos en las camas de cenizas, que una vez humedecidas, son liberados en el suelo, sin embargo, estos pueden ser lavados fácilmente.

Según los resultados obtenidos por (Sertsu 1978), el pH puede disminuir unas décimas. Este efecto se da principalmente por la disminución del efecto amortiguador del suelo producto de la deshidratación de los coloides (Coles y Morrison citados por Solera, J. M. 1999).

## ALUMINIO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

CUADRO VI. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN meq/100g

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	0	*
4/11/17	*	0	*
5/8/17	0.5	0	*
6/8/17	1	0.4	*
7/7/17	*	0.5	*
8/8/17	1.5	0.5	0.8
9/8/17	1.2	0.5	0.9
10/10/17	1.2	0.8	0.8
11/13/17	1.5	0.7	1.3
12/6/17	1.5	1	1.2

Fuente: cuadro elaborado por el autor.

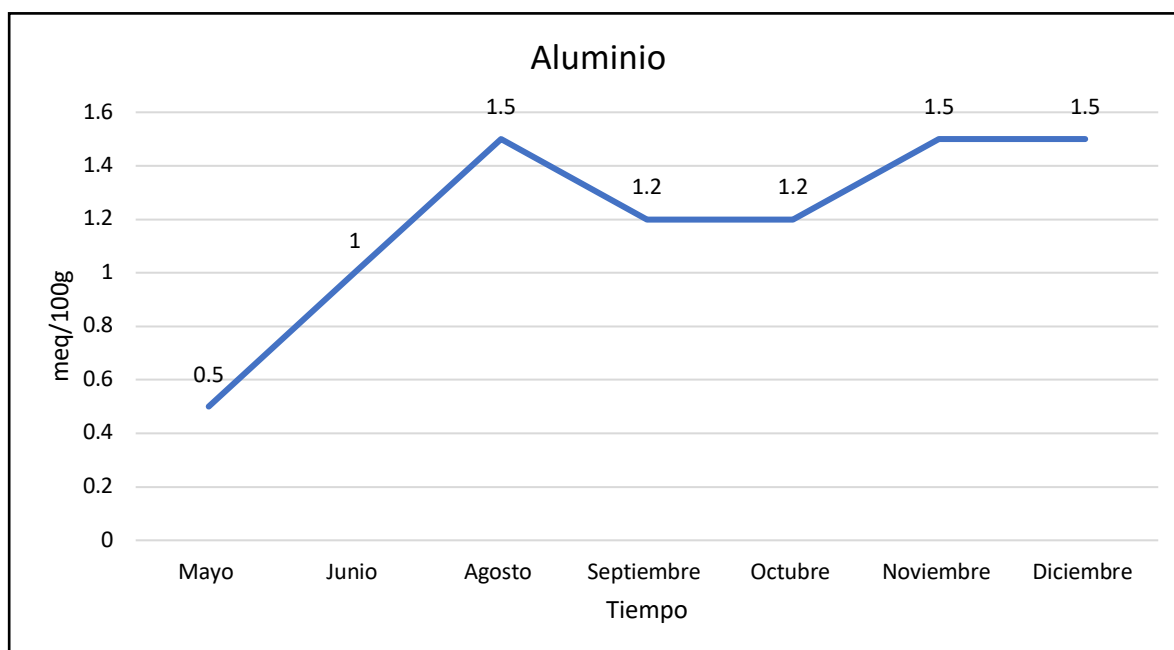


FIGURA 21. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

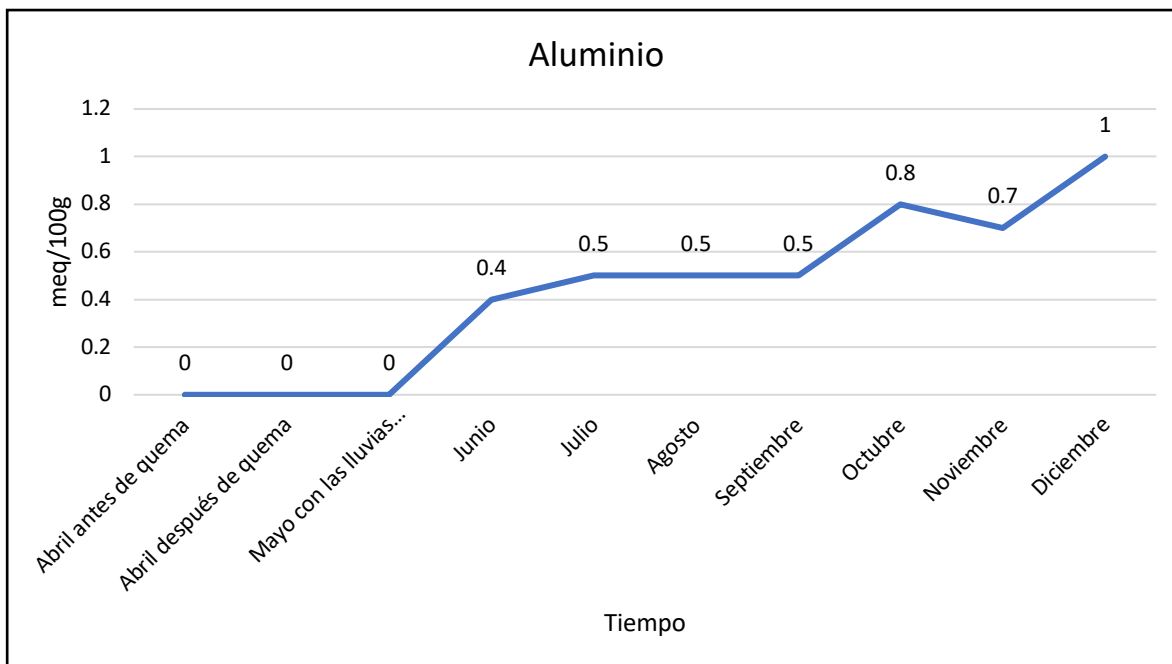


FIGURA 22. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

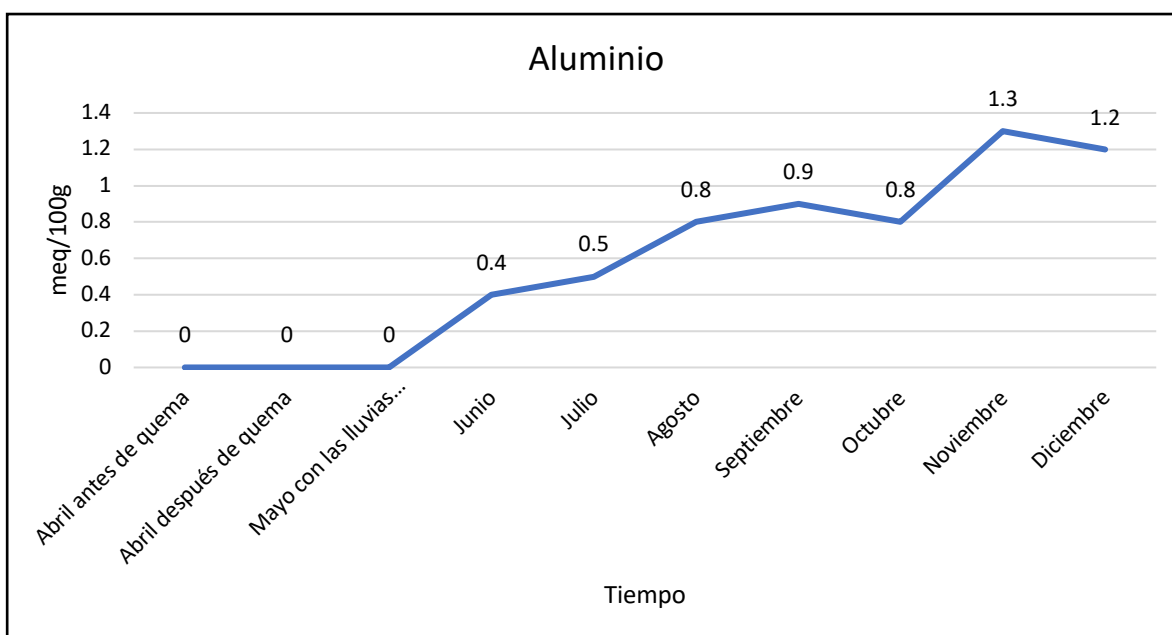


FIGURA 23. VARIACIÓN DEL ALUMINIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

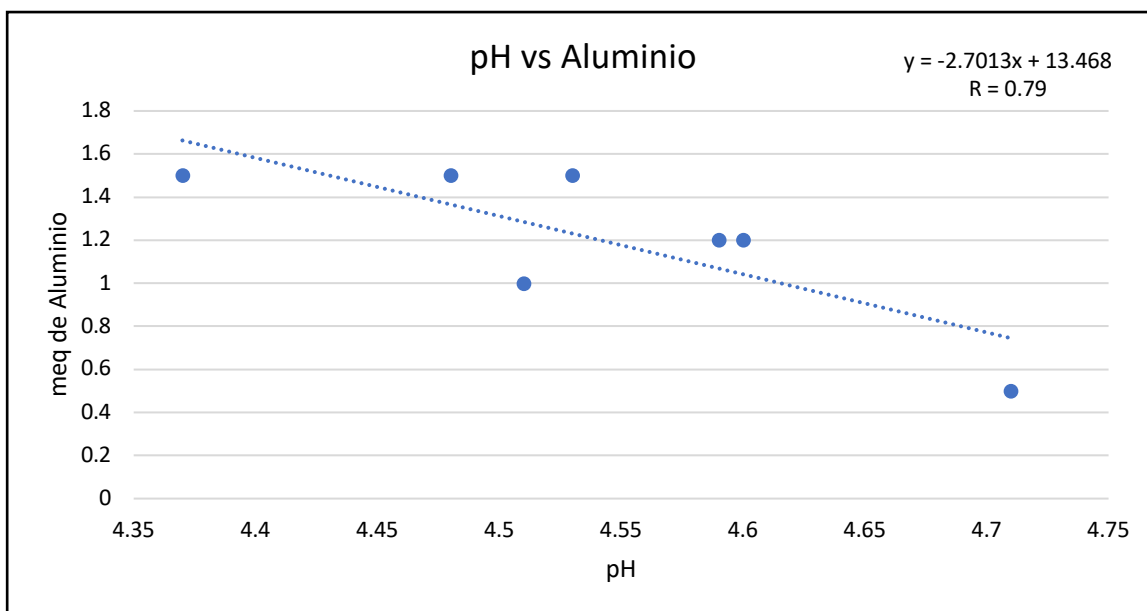


FIGURA 24. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

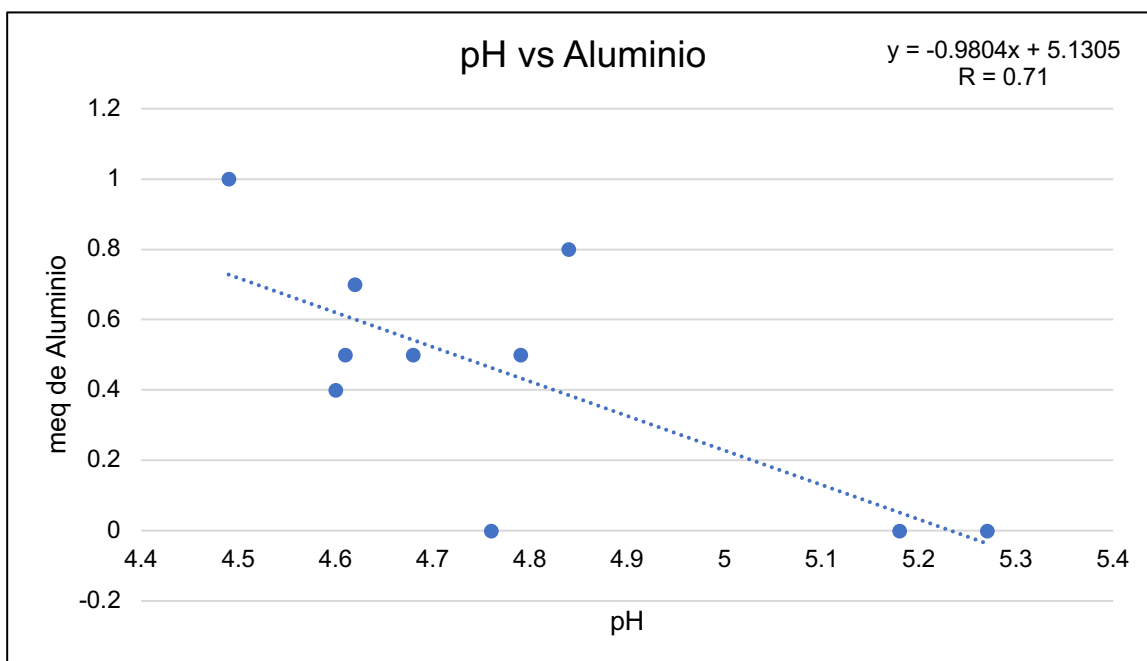


FIGURA 25. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

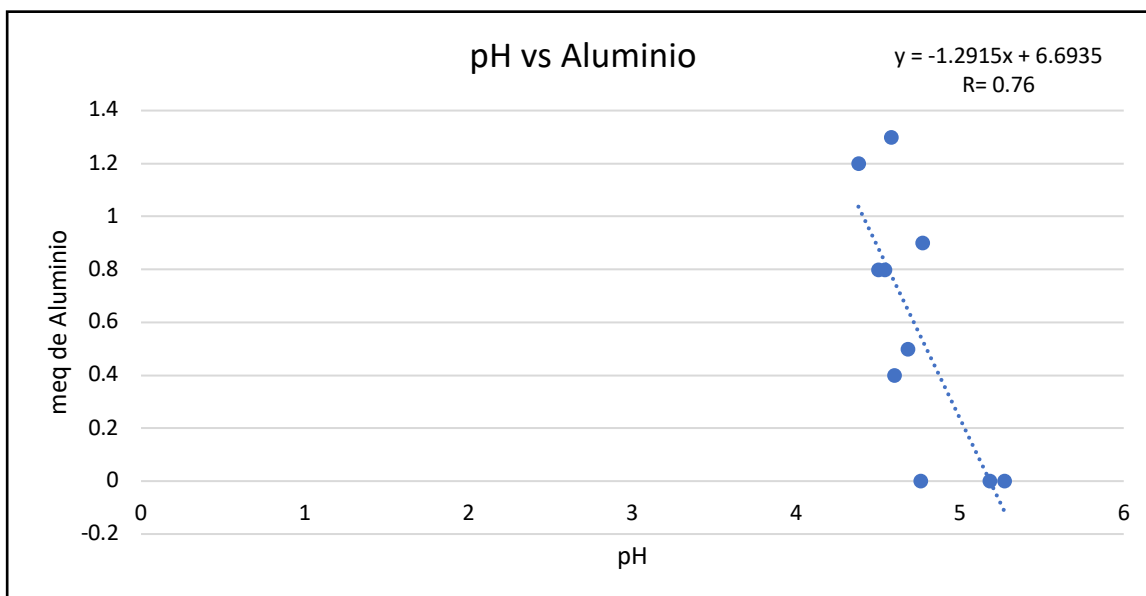


FIGURA 26. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO POR LA INFLUENCIA DEL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

En los tres análisis de correlación, se observa una relación entre el pH y el aluminio contenido en el suelo, este último tiende a aumentar a medida que el pH del suelo se vuelva más ácido. Esta correlación es positivamente alta en las tres parcelas, con lo que se puede demostrar la relación que existe entre estos dos elementos en el suelo. Según lo descrito por (Demagnet F, Rolando 2017), cuando el suelo aumenta su acidez, la capacidad de retención de los cationes básicos disminuye por el aumento de carga positiva de los coloides, que juntos con el aumento de las precipitaciones lixivian a estos cationes, aumentando la concentración del aluminio en el complejo de intercambio.

## 4.3 MATERIA ORGÁNICA

TABLA VII. VARIACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN PORCENTAJE

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	5.28	*
4/11/17	*	4.38	*
5/8/17	8.38	6.06	*
6/8/17	8.12	5.93	*
7/7/17	*	6.7	*
8/8/17	7.09	7.34	6.31
9/8/17	9.41	6.31	5.93
10/10/17	11.34	6.83	6.31
11/13/17	10.56	6.83	5.93
12/6/17	9.92	6.44	6.18

Fuente: cuadro elaborado por el autor

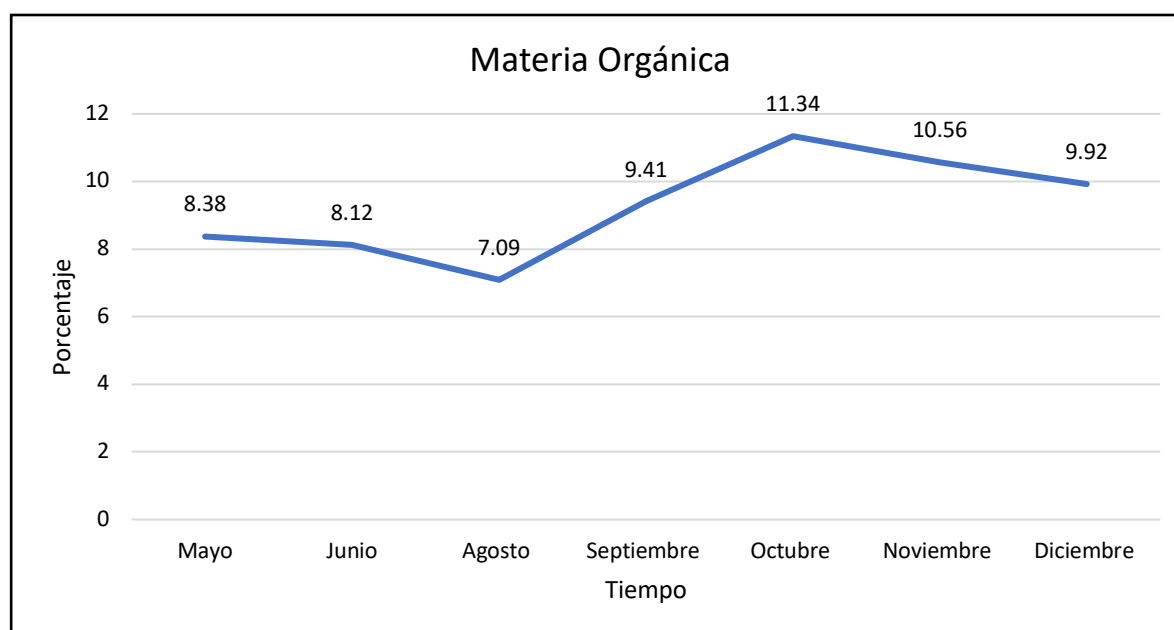


FIGURA 27. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

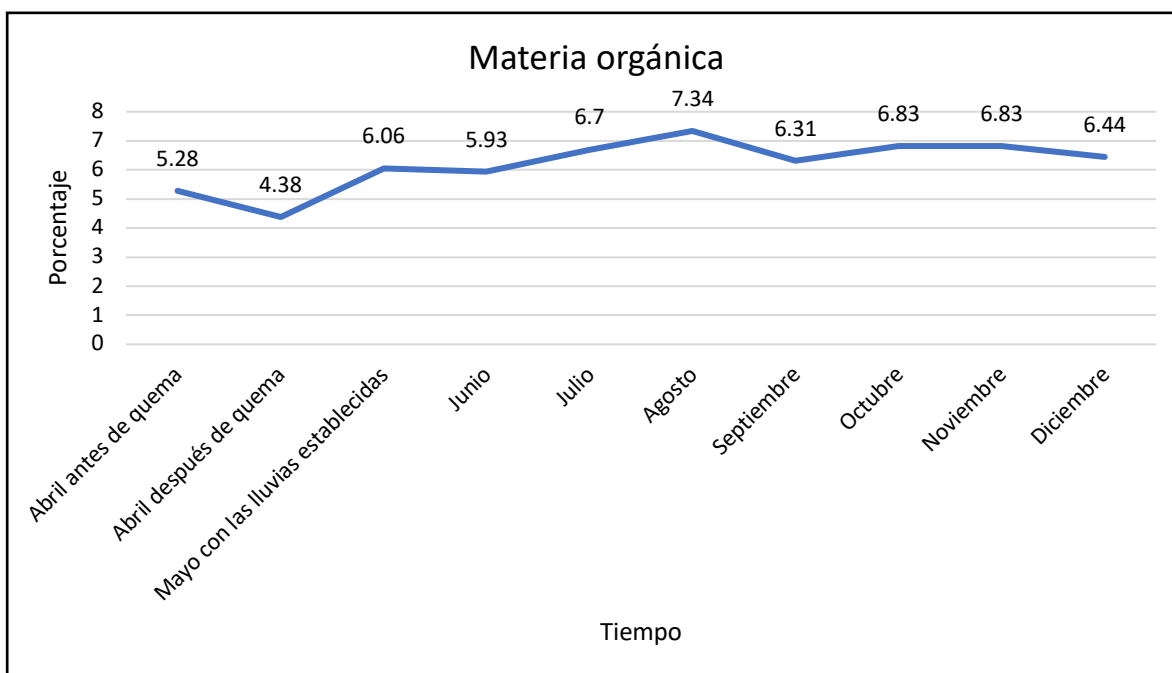


FIGURA 28. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

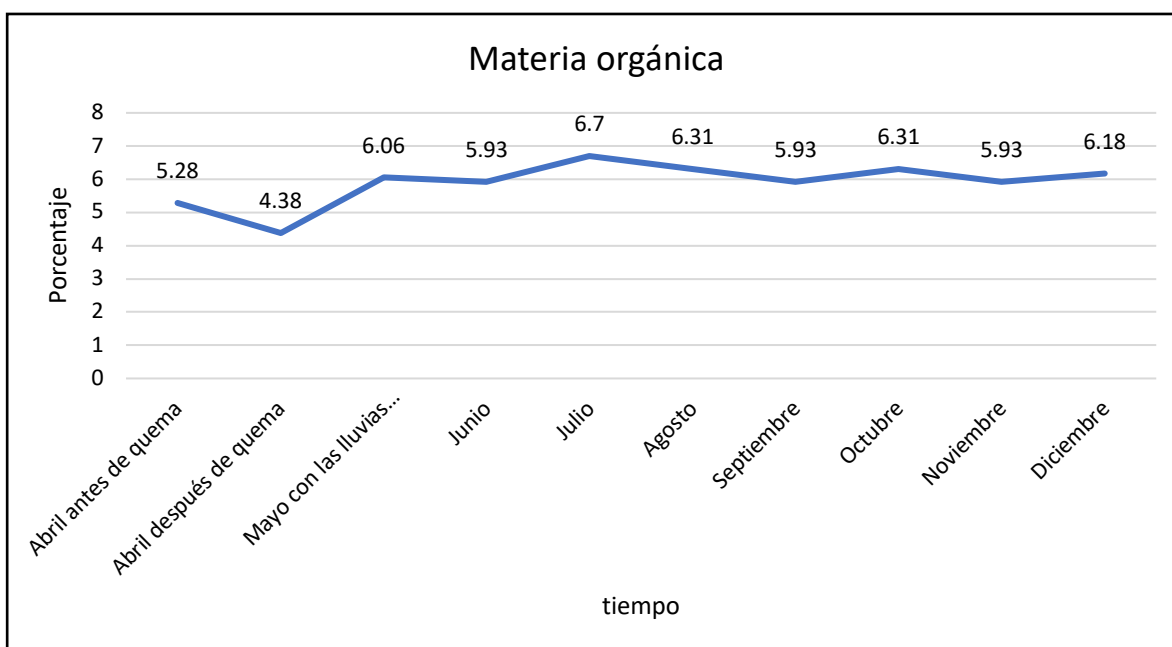


FIGURA 29. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	53.72	2	26.86	27.20*	6.77 E-7	3.40
Error	23.70	24	0.99			
Total	77.42	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Testigo	9.26	A
Experimental 1	6.21	B
Experimental 2	5.90	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio. Según el análisis de varianza, se observan diferencias significativas entre los tratamientos influenciados principalmente por factores como la naturaleza de la parcela, ya que el testigo jamás ha sido intervenido para cultivar en él, más que por el fuego del incendio en sí. Cabe destacar que el mes con mayor contenido de materia orgánica fue octubre, mes que se caracteriza por fuertes lluvias. En las parcelas experimentales se observó un leve descenso en el porcentaje de materia orgánica producto del incendio, aunque luego este aumenta nuevamente, una vez establecidas las lluvias y se mantiene en niveles más o menos constantes.

Según lo descrito por (Corbella, Roberto; Fernández de U, Juan. Sin fecha), factores como la humedad (a medida que aumenta la humedad efectiva, aumenta el contenido de materia orgánica), temperatura (resultante de la variación en la

producción de materia orgánica y su destrucción), drenaje (: los suelos mal drenados acumulan cantidades mucho más altas comparados con los suelos bien drenados) y textura (: suelos con alto contenido de limo y arcilla poseen más materia orgánica que los suelos arenosos), producen aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo. Nuestro testigo poseía una alta humedad, además de una espesa vegetación, así como alto contenido de limo. Además fue un año lluvioso, lo que provocaba aumento en la humedad efectiva.

En nuestras parcelas experimentales se observó un leve descenso en la materia orgánica. Una vez establecidas las lluvias se recuperaron los valores de materia orgánica que se tenían antes del incendio. Esto puede deberse a los factores mencionados anteriormente en nuestra parcela testigo, solo que influenciado en menor medida al ser estas parcelas cultivadas.

#### 4.4 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO Y PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES

TABLA VIII. VARIACIÓN DE LA CICE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN meq/100g

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	31.88	*
4/11/17	*	26.92	*
5/8/17	15.92	30.36	*
6/8/17	18.73	19.02	*
7/7/17	*	19.08	*
8/8/17	13.45	17.66	16.84
9/8/17	11.14	19.06	16.40
10/10/17	12.42	17.07	15.83
11/13/17	11.14	19.10	15.32
12/6/17	12.03	16.60	12.63

Fuente: cuadro elaborado por el autor

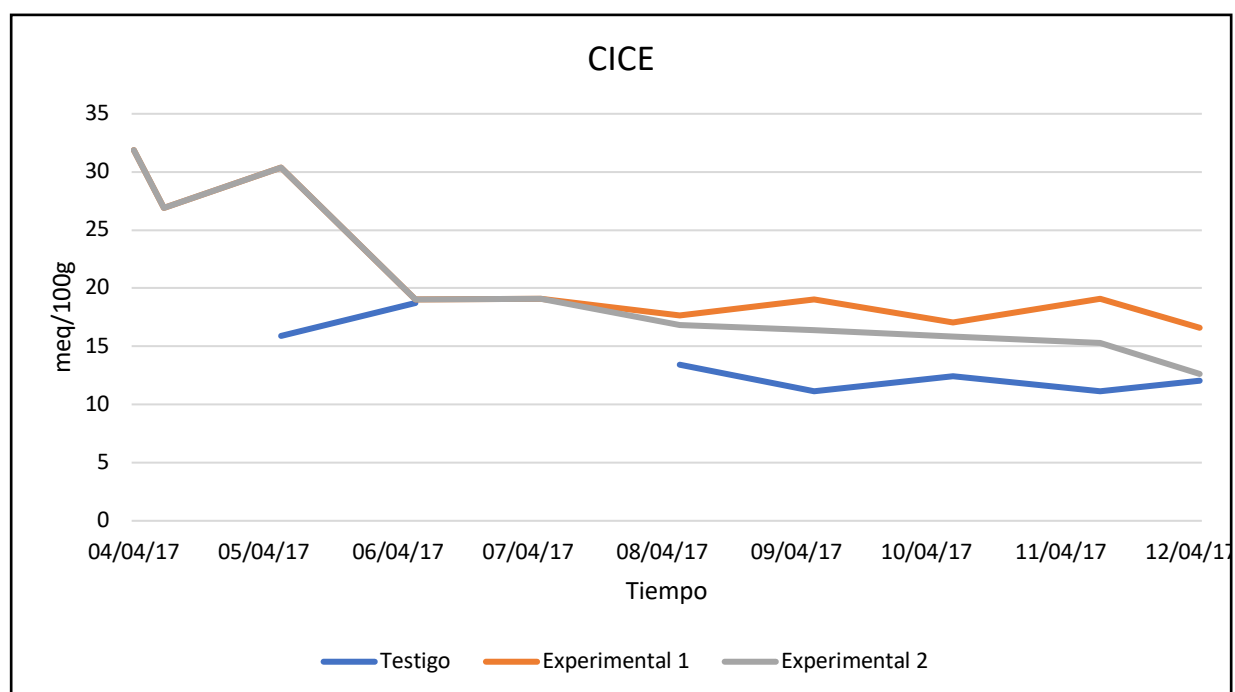


FIGURA 30. VARIACIÓN DE LA CICE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fuente: figura elaborada por el autor

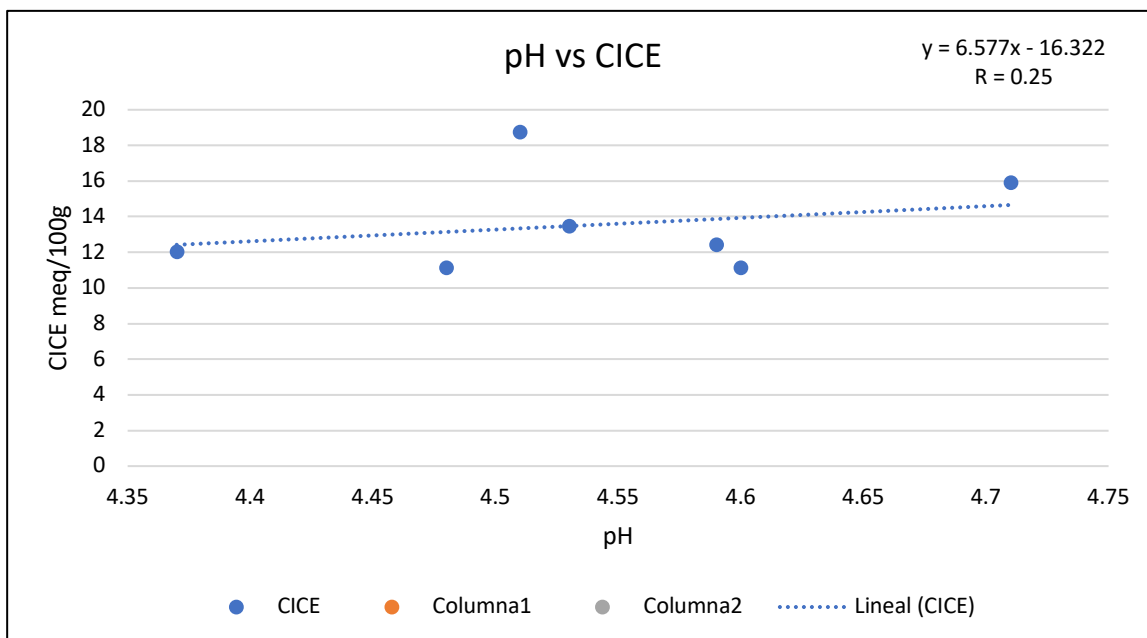


FIGURA 31. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

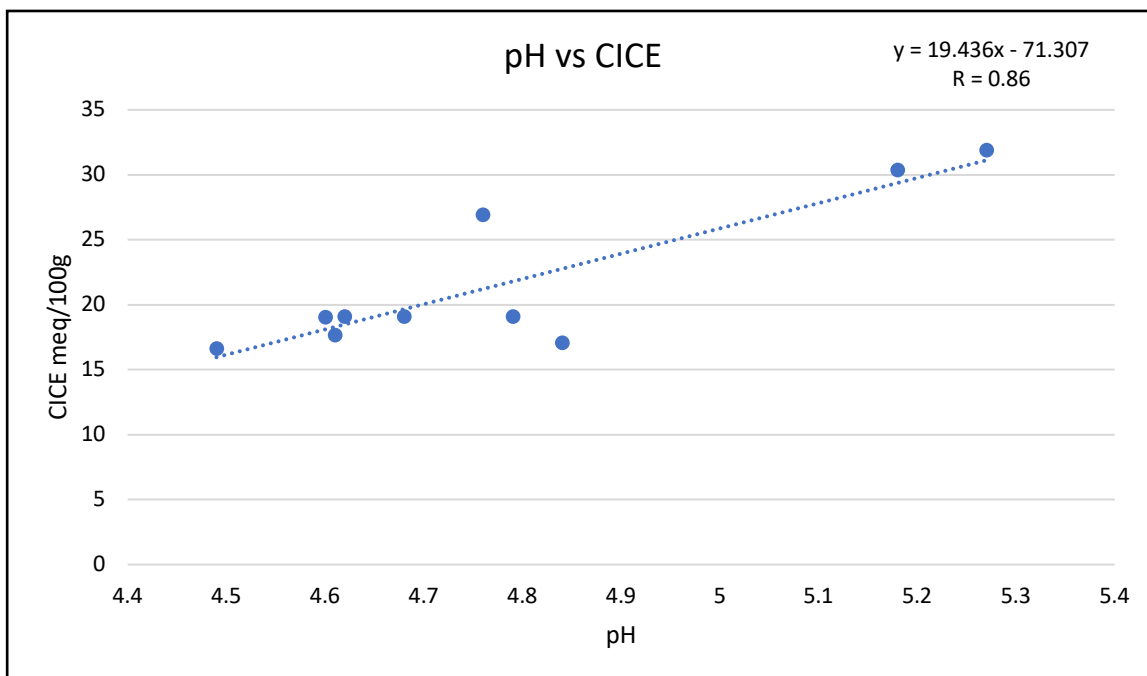


FIGURA 32. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

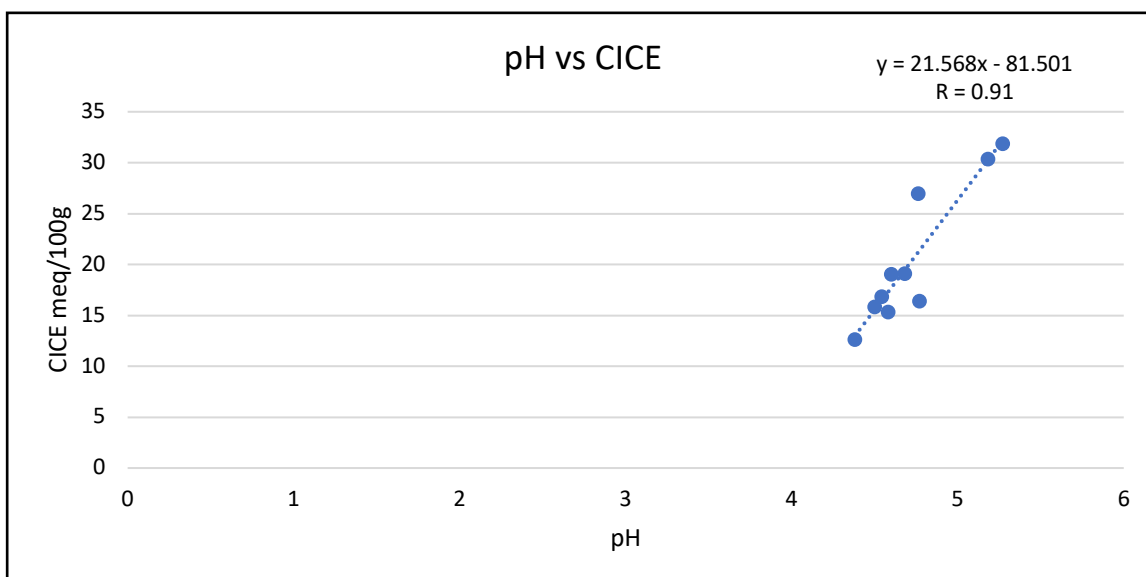


FIGURA 33. CORRELACIÓN ENTRE EL CICE Y EL pH EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	299.78	2	149.89	4.75*	0.02	3.40
Error	757.96	24	31.58			
Total	1057.74	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Experimental 1	21.67	A
Experimental 2	20.43	A
Testigo	13.55	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

Por medio del test Anova, se arrojan diferencias significativas entre los tratamientos. Con el uso de la quema se observa una reducción de la CICE en las dos parcelas experimentales. Dicha reducción se nota a partir del mes de junio. En este mes se obtuvieron valores de pH de 4.6 que son muy ácidos, por lo que se puede decir que el pH redujo la CICE, aunque la materia orgánica tiende a disminuir este valor también, si se encuentra en bajos niveles, aunque este no es el caso. En el mes de diciembre se observan los valores más bajos en cuanto a CICE y este mes corresponde con los registros de pH más bajos.

Por medio de análisis de correlación, se logra observar una fuerte relación entre el pH y la CICE en las parcelas experimentales.

Estos resultados concuerdan con lo antes mencionado por (Smart-fertilizer, sin fecha), donde mencionan que el pH ejerce un control directo sobre la CICE, reteniendo protones, provocando que estos grupos OH tengan carga positiva, disminuyendo de esta manera la CICE. Además, (Henry D. Foth, 1990), informa que los suelos ácidos tienen un CICE menor que el potencial máximo que pudiera desarrollar a un pH óptimo.

CUADRO IX. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	99.37	*
4/11/17	*	98.51	*
5/8/17	94.35	99.67	*
6/8/17	89.32	95.27	*
7/7/17	*	94.76	*
8/8/17	82.90	93.77	92.28
9/8/17	81.14	94.75	90.86
10/10/17	85.51	91.80	89.89
11/13/17	78.45	92.67	90.86
12/6/17	80.04	89.76	83.38

Fuente: cuadro elaborado por el autor

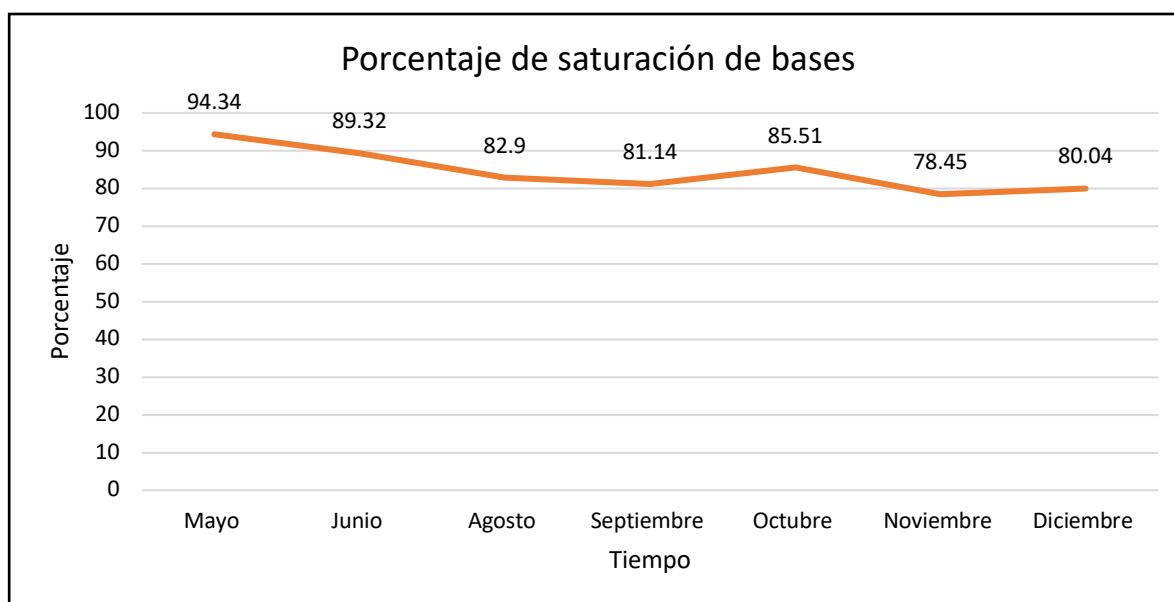


FIGURA 34. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

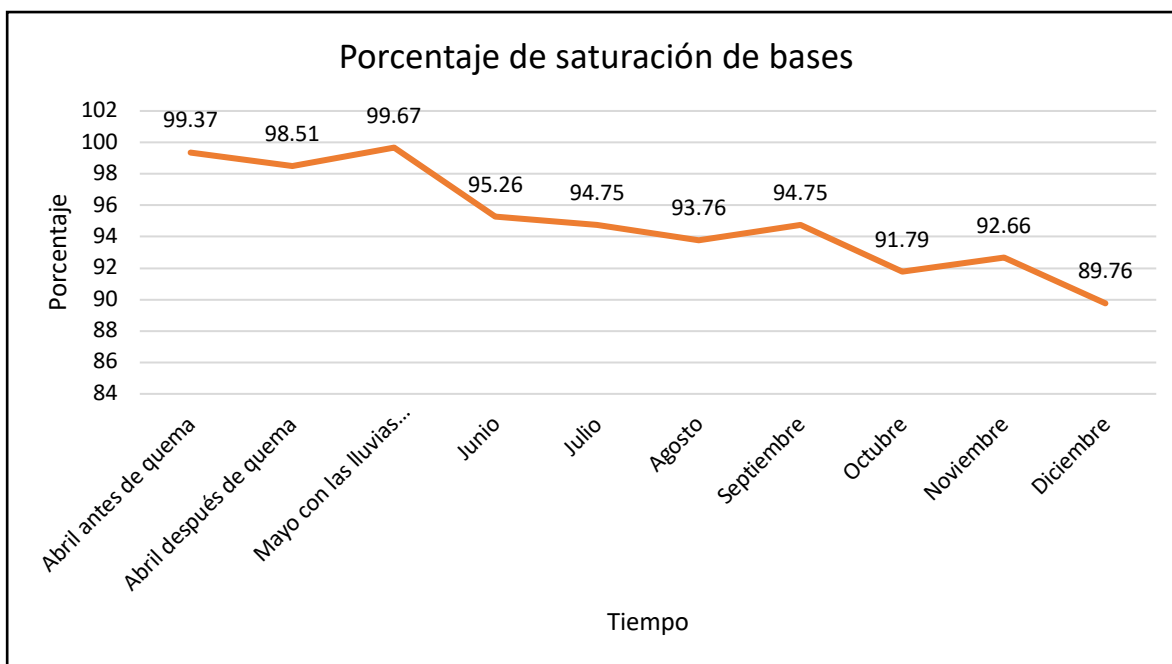


FIGURA 35. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

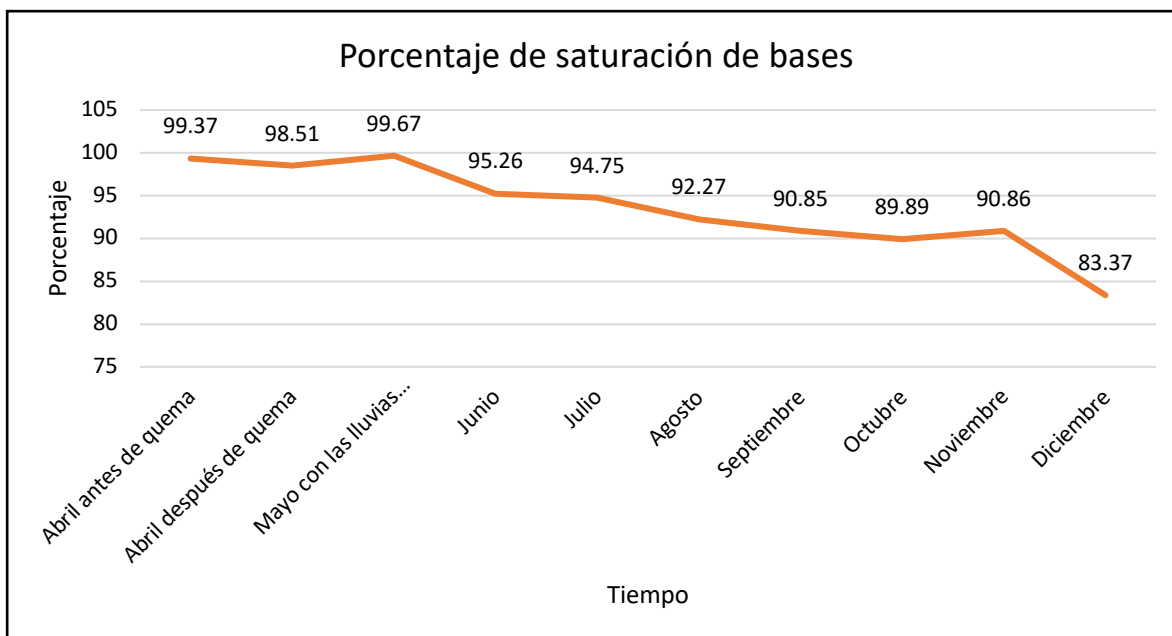


FIGURA 36. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	502.78	2	251.39	11.54*	3.0 E-4	3.40
Dentro de los grupos	522.88	24	21.79			
Total	1025.65	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Experimental 1	95.03	A
Experimental 2	93.48	A
Testigo	84.53	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

Con los resultados obtenidos en la prueba ANOVA, se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos. En la parcelas experimentales se puede observar un % de saturación de bases mucho mayor que en la parcela testigo. Inicialmente ambas son similares, sin embargo, la deposición de cenizas que posteriormente liberan los cationes contenidos en ellas en las parcelas experimentales, logran retardar un poco la disminución de este valor. Luego se observa como este valor disminuye en las parcelas experimentales, principalmente, por el efecto de lavado producido por las lluvias.

Según (Harold A. Wright, Henry A. Wright, Arthur W. Bailey; 1982), en incendios leves el porcentaje de saturación de bases puede verse afectado, mostrando un leve incremento. Además (Certini, Giacomo; 2005), informa que la liberación de bases

producto de la combustión son los causantes de este incremento. De igual forma también nos dice que estas bases son fácilmente lavables por lo que este porcentaje tiende a disminuir con el paso del tiempo.

#### 4.5 FÓSFORO

CUADRO X. FÓSFORO ASIMILABLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS EN ppm

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	5.60	*
4/11/17	*	7.65	*
5/8/17	11.75	11.66	*
6/8/17	7.22	7.05	*
7/7/17	*	7.99	*
8/8/17	6.63	9.27	11.41
9/8/17	4.83	6.54	8.42
10/10/17	5.35	6.03	7.22
11/13/17	5.26	7.14	8.93
12/6/17	4.83	7.82	8.76

Fuente: cuadro elaborado por el autor

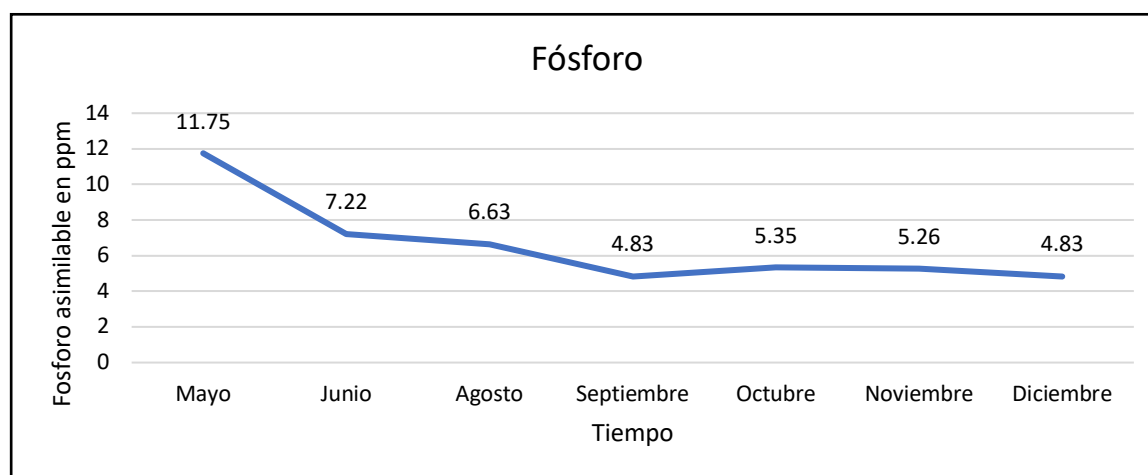


FIGURA 37. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

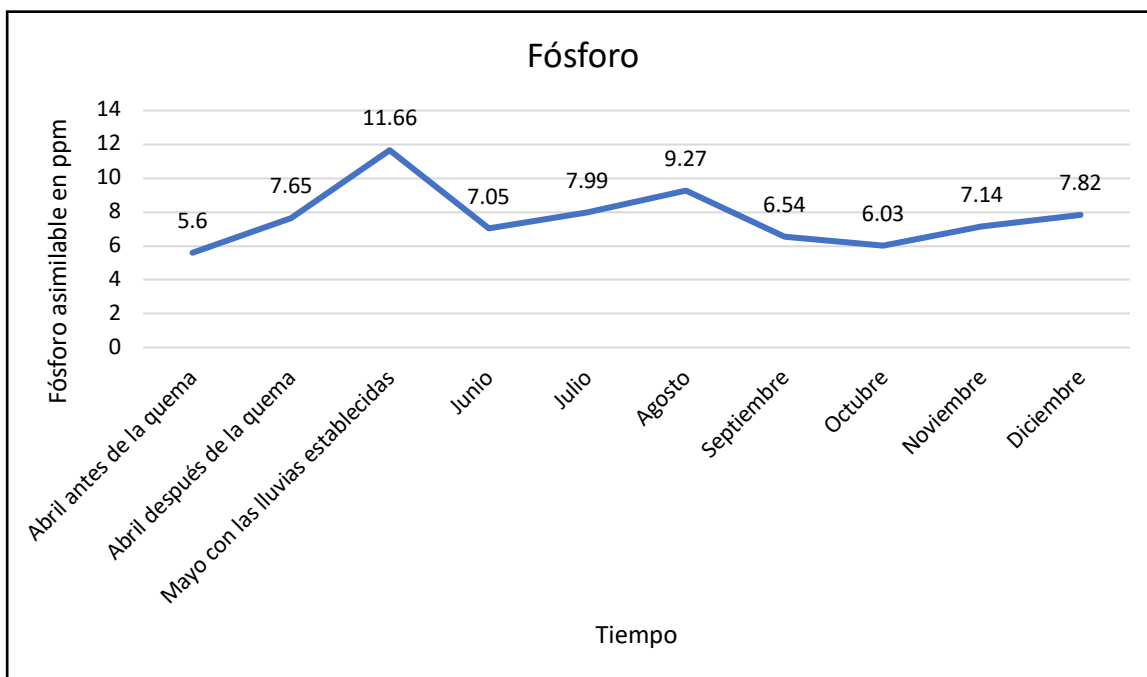


FIGURA 38. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

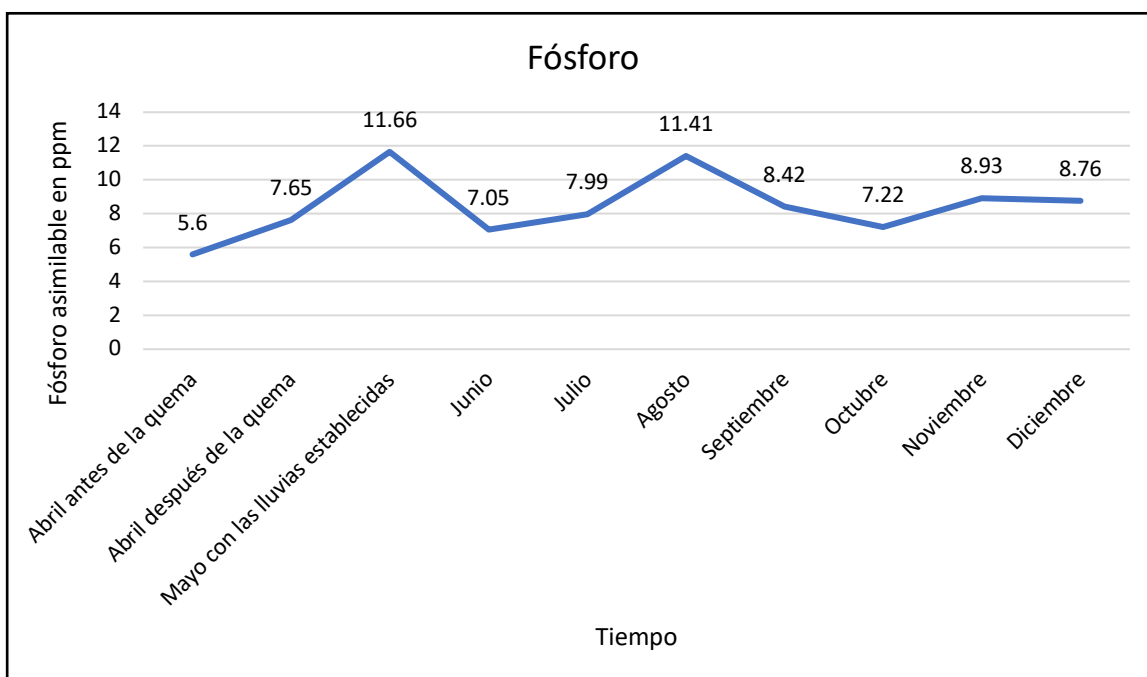


FIGURA 39. EVOLUCIÓN DEL FÓSFORO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	15.12	2	7.56	1.89 ns	0.17	3.40
Error	95.87	24	3.99			
Total	110.99	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas en la concentración de fósforo entre los tratamientos. Aunque se logra observar un aumento en la concentración del fósforo asimilable en las parcelas experimentales una vez las lluvias se establecen. Luego en el transcurso de un mes, los niveles de fósforo regresan a su estado original. En la parcela experimental 2 se observa una mayor proporción en el contenido de fósforo, comparado con la experimental 1, justificable por la pequeña cantidad de abono químico aplicado en la parcela experimental 2.

En la parcela testigo, el fósforo tiende a un descenso. Cabe destacar que los niveles varían entre muestreo por efecto del consumo mismo de la vegetación, así como del cultivo.

## 4.6 POTASIO

CUADRO XI. CONTENIDO DE POTASIO EN ppm DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	162	*
4/11/17	*	148	*
5/8/17	166	160	*
6/8/17	75	129	*
7/7/17	*	149	*
8/8/17	46	133	122
9/8/17	55	88	98
10/10/17	57	104	98
11/13/17	55	93	110
12/6/17	63	81	111

Fuente: cuadro elaborado por el autor

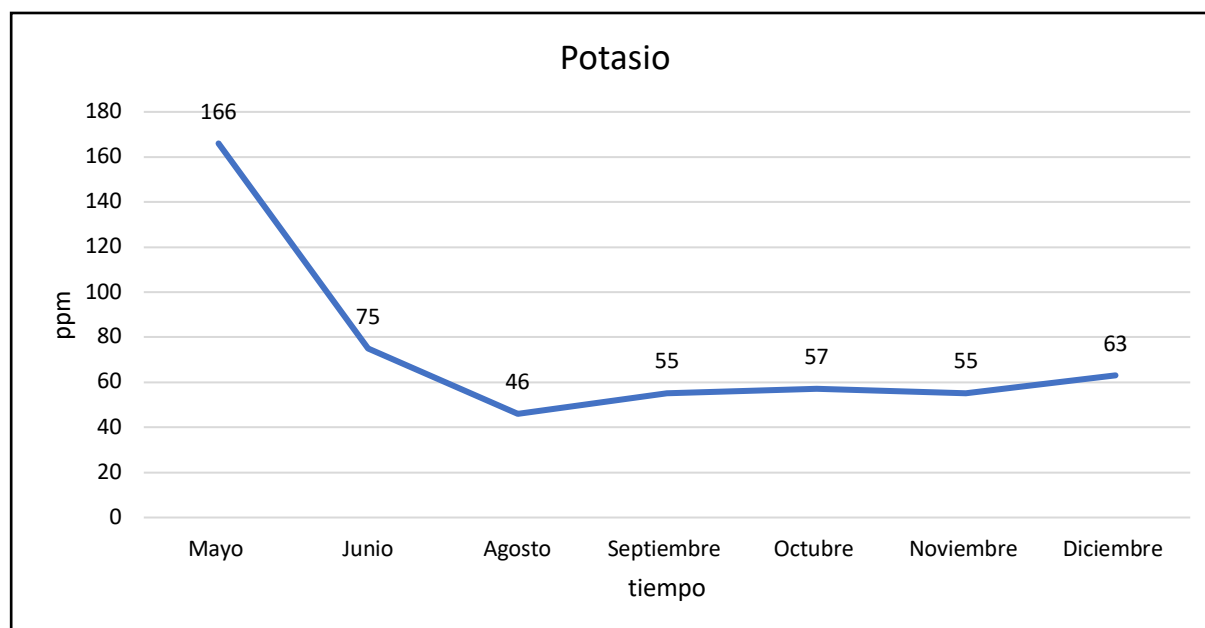


FIGURA 40. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

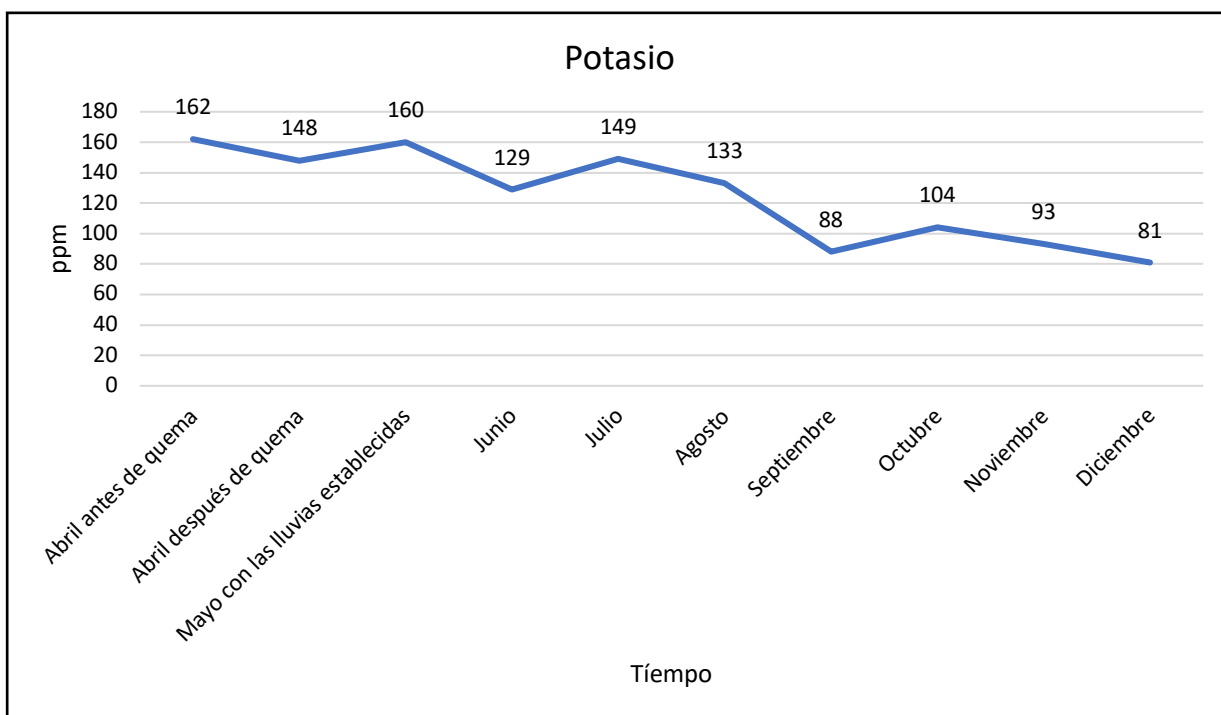


FIGURA 41. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor.

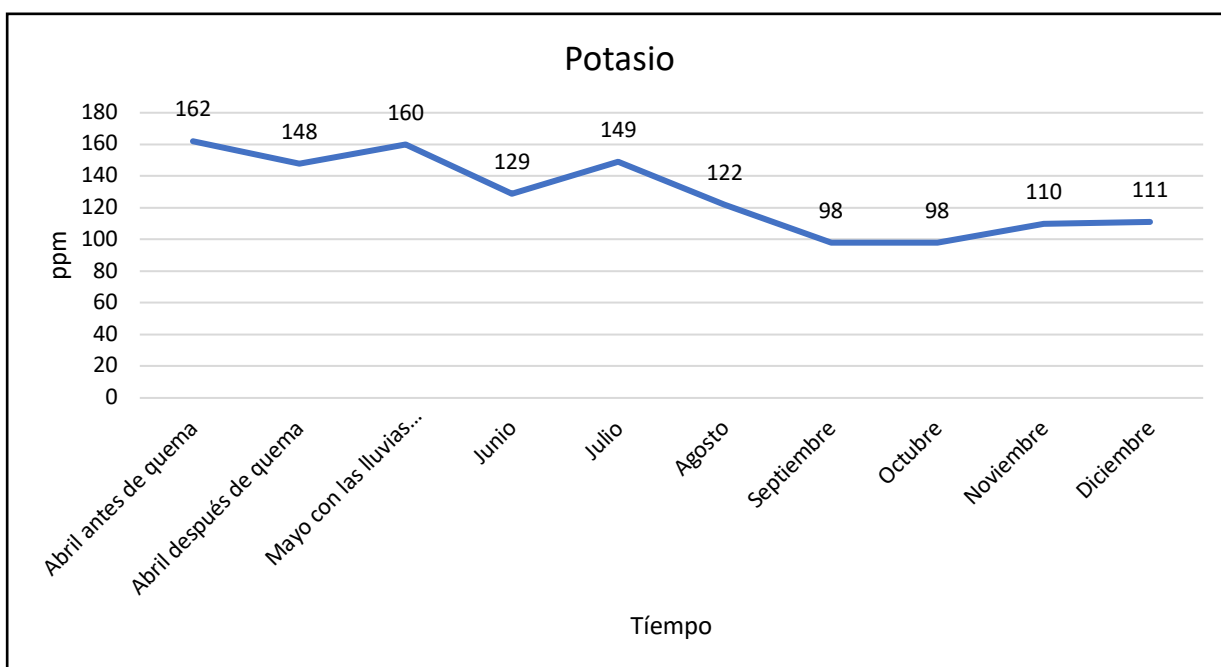


FIGURA 42. EVOLUCIÓN DEL POTASIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	14558.94	2	7279.47	7.161*	0.0036	3.40
Error	24395.06	24	1016.46			
Total	38954	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Experimental 2	128.7	A
Experimental 1	124.7	A
Testigo	73.86	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

El análisis de varianza nos indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos. En nuestra parcela testigo se observó una caída en los niveles de potasio en muy poco tiempo, atribuido a factores como el alto consumo de este nutriente por parte de la vegetación existente más el fenómeno de erosión y lixiviación producto de las fuertes lluvias que se registraron en esas fechas.

En la parcela experimental (1 y 2) se observa una dinámica mucho más conservadora, producto de la quema de las parcelas no existe vegetación que absorba potasio, reduciendo los niveles del mismo como paso con nuestro testigo.

En la parcela experimental 2, se observa niveles de fósforo más altos que en la experimental 1, principalmente debido a la fertilización con abono químico. Sin

embargo, el empleo del mismo no muestra una gran diferencia comparado con la parcela experimental 1.

(NAU, US. Sin fecha), comentan que el potasio se reduce luego de un incendio, por diversas causas, dentro de las cuales están: oxidación, volatilización, transporte de cenizas, lixiviación y erosión. Sin embargo, la disponibilidad a menudo aumenta, al igual que la fertilidad, aunque este aumento es temporal

(Afif K, E; Oliveira P, J.A. 2006), encontraron que el potasio aumenta generalizadamente en sus concentraciones hasta los 30 días posteriores a la quema, aunque se señala que si no existe suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración del potasio se verá reducida a corto plazo luego del incendio.

#### 4.7 NITRÓGENO

CUADRO XII. CONTENIDO DE NITRÓGENO A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE POR MES EN KG/HA

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	9.9	*
4/11/17	*	8.21	*
5/8/17	15.71	11.36	*
6/8/17	15.22	11.12	*
7/7/17	*	12.56	*
8/8/17	13.29	13.76	11.83
9/8/17	17.64	11.83	11.12
10/10/17	21.26	12.81	11.83
11/13/17	19.8	12.81	11.12
12/6/17	18.6	12.07	11.59

Fuente: cuadro elaborado por el autor

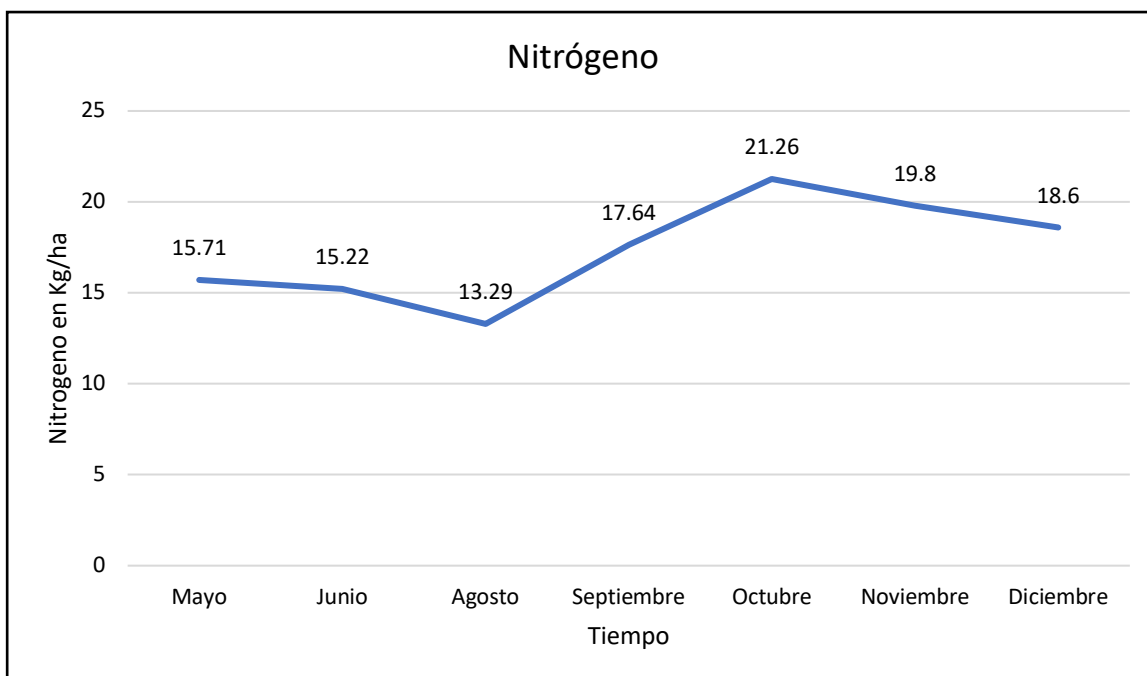


FIGURA 43. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

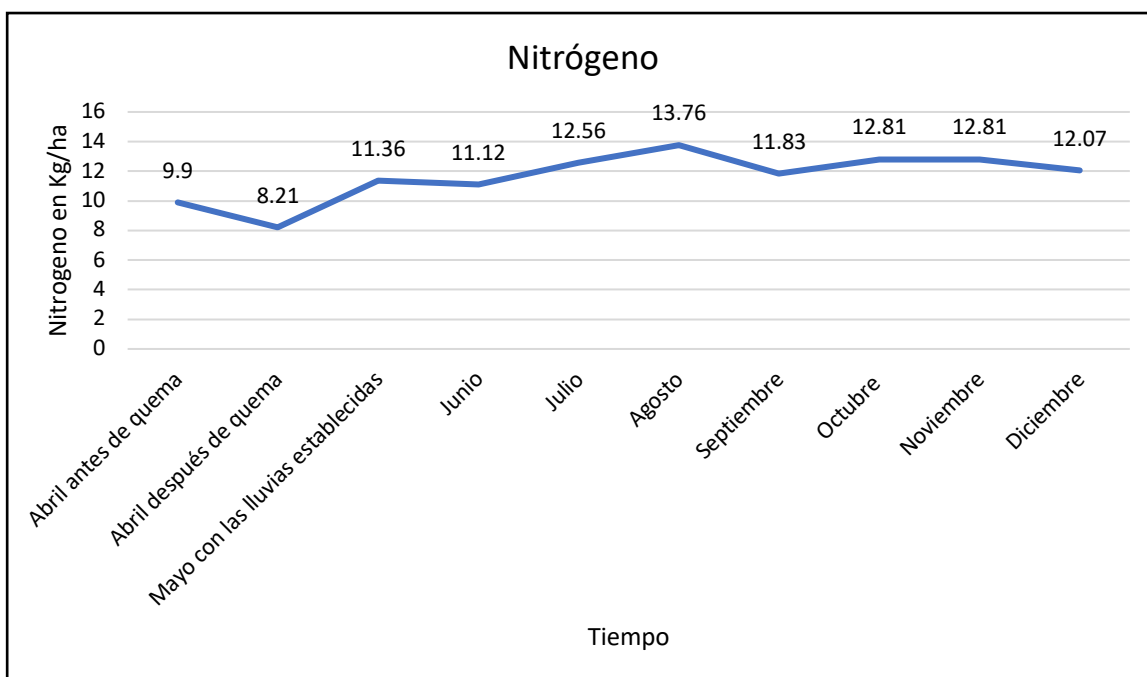


FIGURA 44. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor

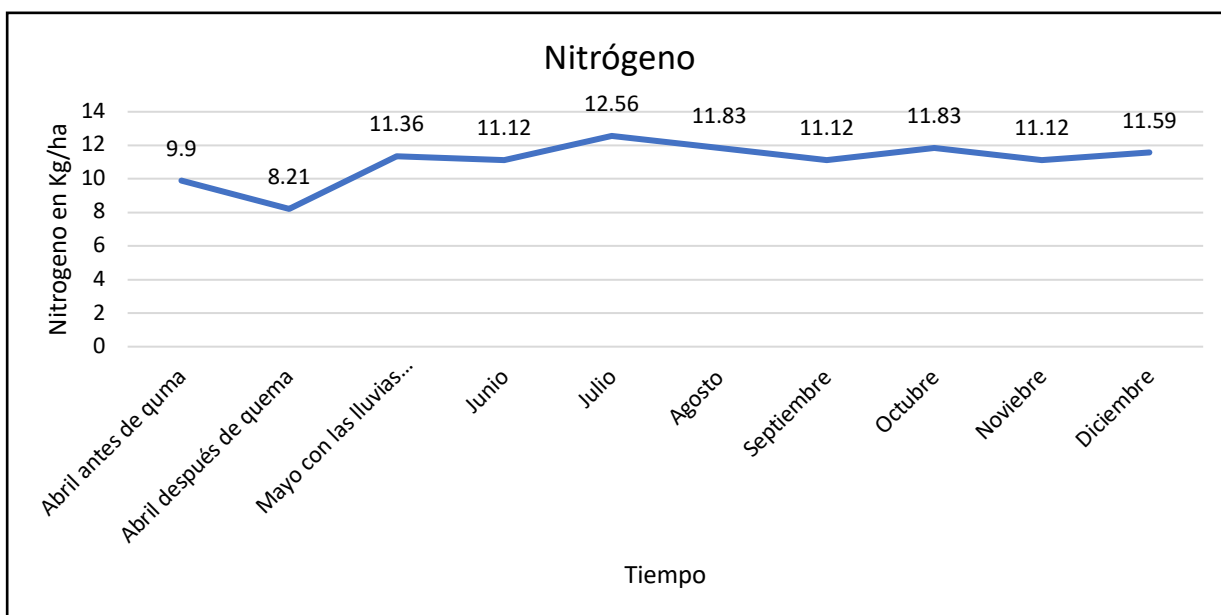


FIGURA 45. EVOLUCIÓN DEL NITRÓGENO MINERALIZABLE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	188.75	2	94.37	27.17*	6.84 E-7	3.40
Dentro de los grupos	83.37	24	3.47			
Total	272.12	26				

(\*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa

Tratamiento	Media	Letra
Testigo	17.36	A
Experimental 1	11.64	B
Experimental 2	11.06	B

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

Según el análisis de varianza, existen diferencias significativas entre los tratamientos. El testigo, que no fue intervenido, se da una mayor acumulación de materia orgánica que posteriormente por procesos de mineralización se transforma en nitrógeno aprovechable por las plantas. En nuestras parcelas experimentales el fuego redujo un poco el contenido de la materia orgánica que se traduce en una reducción de este tipo de nitrógeno, sin embargo, al pasar un par de meses, este recupera los niveles iniciales, inclusive un poco más.

Este efecto puede deberse al material semi-pirolizado, que pasa a ser materia orgánica y posteriormente nitrógeno.

Cabe destacar que el nitrógeno total perdido no se logra contabilizar por medio de este método de estimación de nitrógeno. El contenido de nitrógeno aportado por el fertilizante tampoco se puede contabilizar por medio de este análisis.

## 4.8 MICRONUTRIENTES

CUADRO XIII. CONTENIDO DE CALCIO EN meq/100g EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	20.05	*
4/11/17	*	17.18	*
5/8/17	8.79	20.76	*
6/8/17	10.92	11.29	*
7/7/17	*	11.49	*
8/8/17	6.67	10.14	9.7
9/8/17	5.3	11.3	9.19
10/10/17	6.72	9.53	8.72
11/13/17	5.31	10.92	8.62
12/6/17	5.97	8.77	6.15

Fuente: cuadro elaborado por el autor

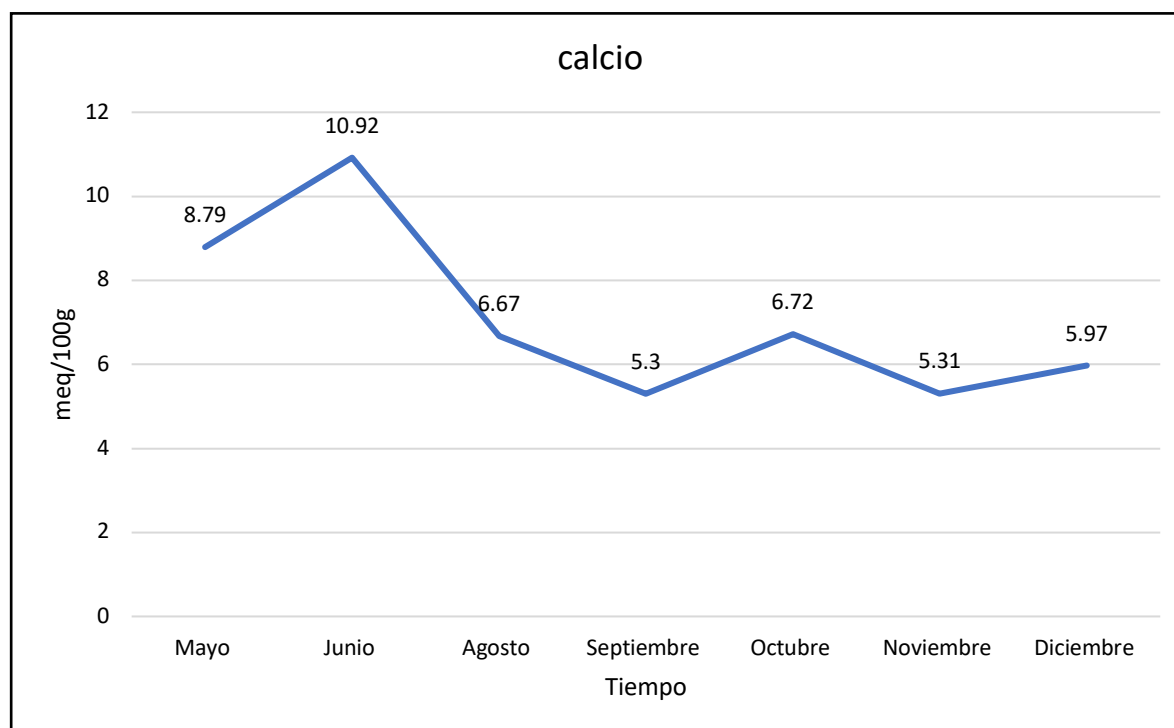


FIGURA 46. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

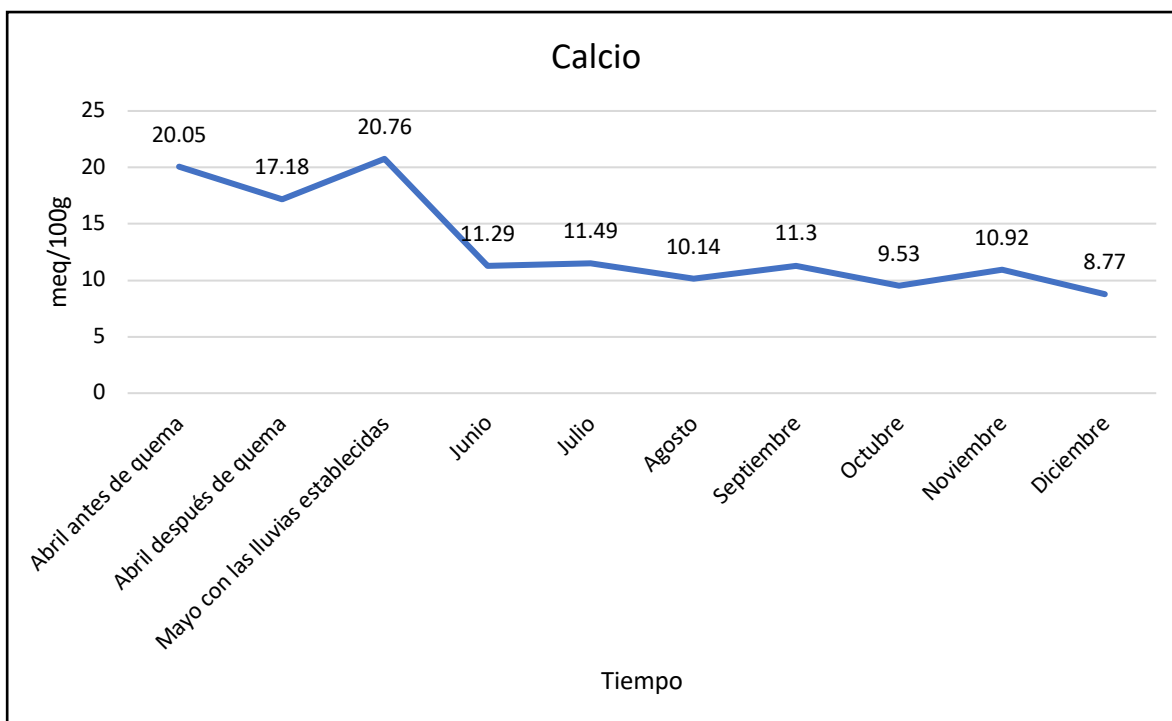


FIGURA 47. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

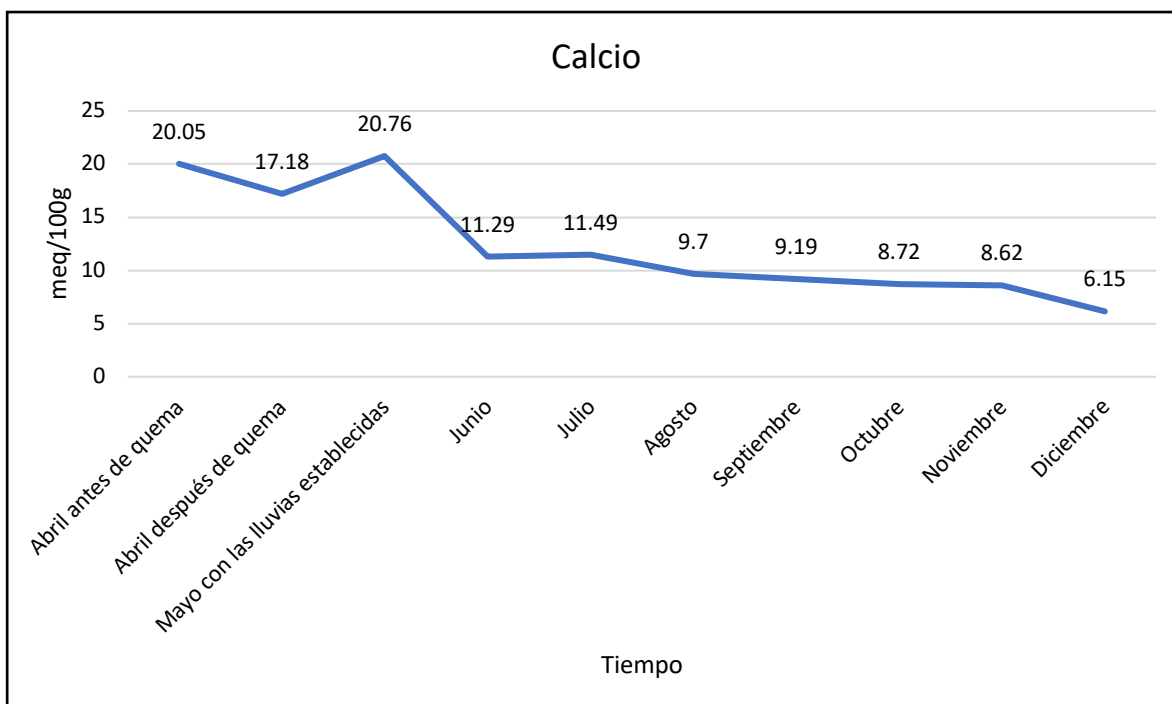


FIGURA 48. EVOLUCIÓN DEL CALCIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XIV. CONTENIDO DE MAGNESIO EN meq/100g EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	11.12	*
4/11/17	*	8.87	*
5/8/17	5.65	8.97	*
6/8/17	5.45	6.38	*
7/7/17	*	6.09	*
8/8/17	4.18	5.94	5.4
9/8/17	3.43	6.35	5.29
10/10/17	3.61	5.74	5.13
11/13/17	3.14	6.37	4.85
12/6/17	3.33	5.79	3.97

Fuente: cuadro obtenido por el autor

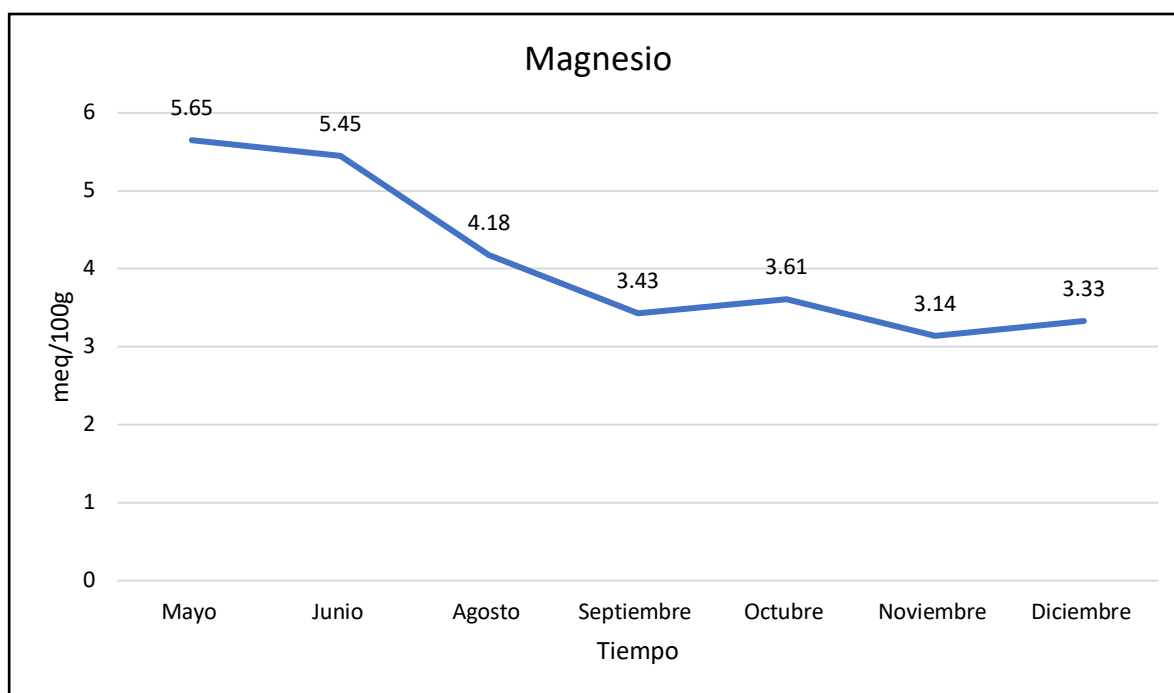


FIGURA 49. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

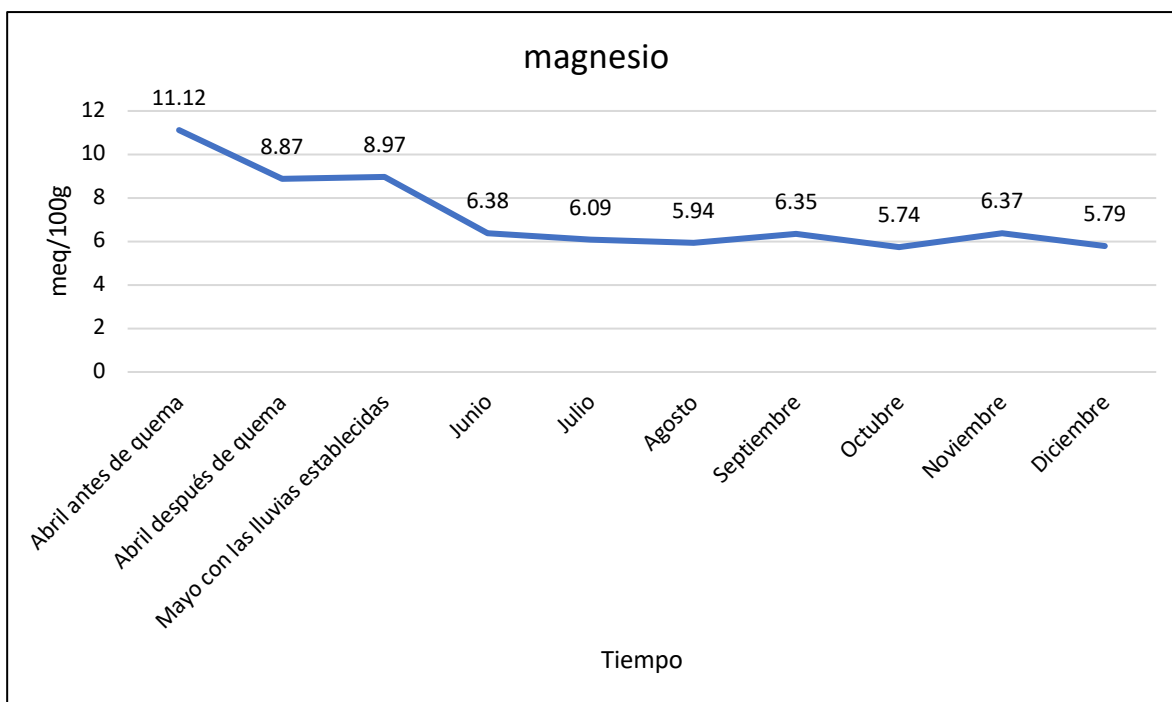


FIGURA 50. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

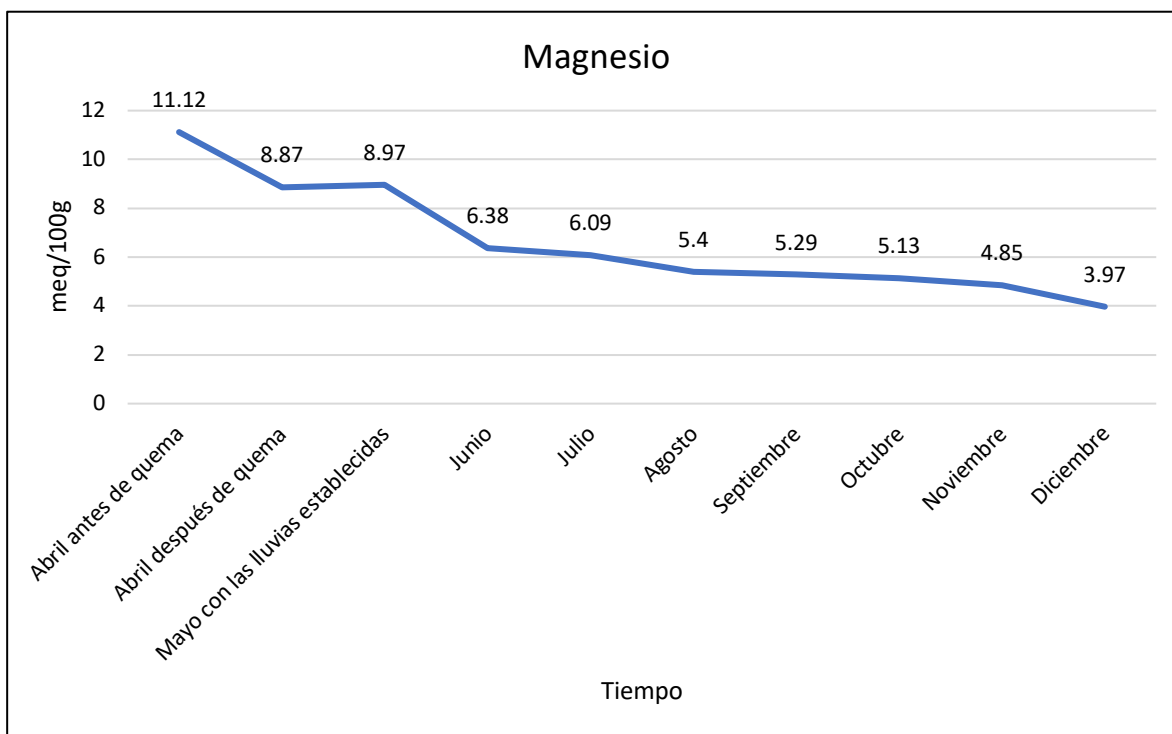


FIGURA 51. EVOLUCIÓN DEL MAGNESIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XV. CONTENIDO DE SODIO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	22	*
4/11/17	*	20	*
5/8/17	36	28	*
6/8/17	39	27	*
7/7/17	*	27	*
8/8/17	42	31	29
9/8/17	38	42	40
10/10/17	34	30	30
11/13/17	34	39	38
12/6/17	38	31	30

Fuente: cuadro elaborado por el autor

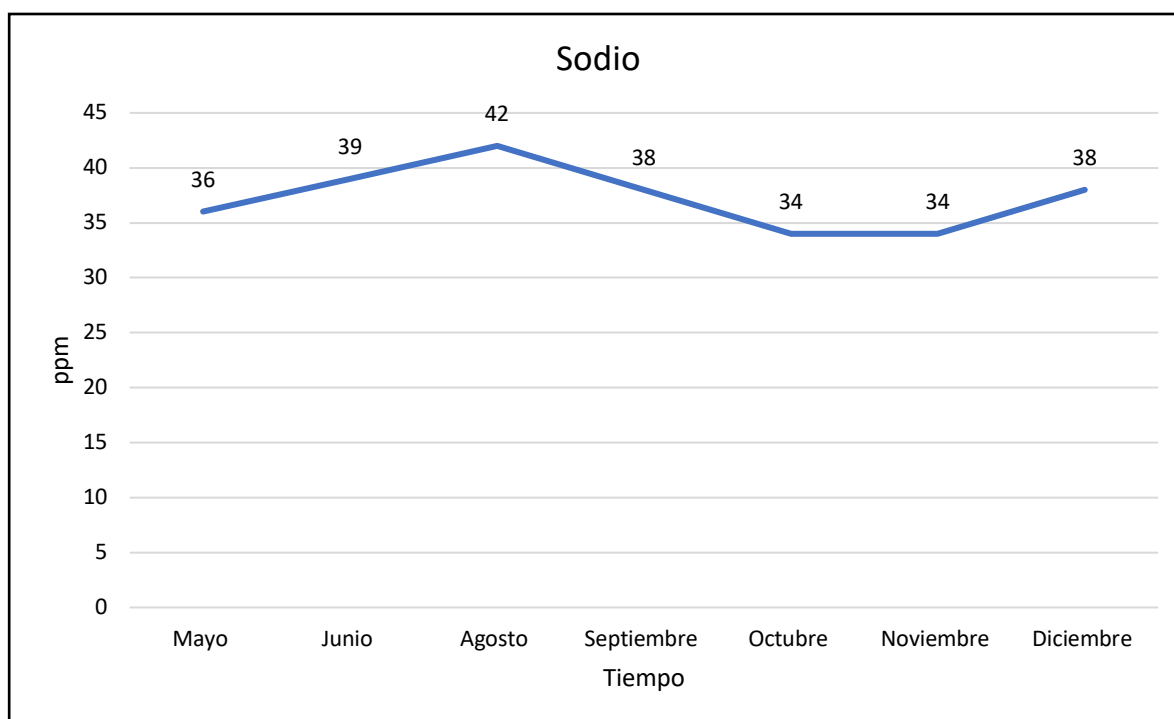


FIGURA 52. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

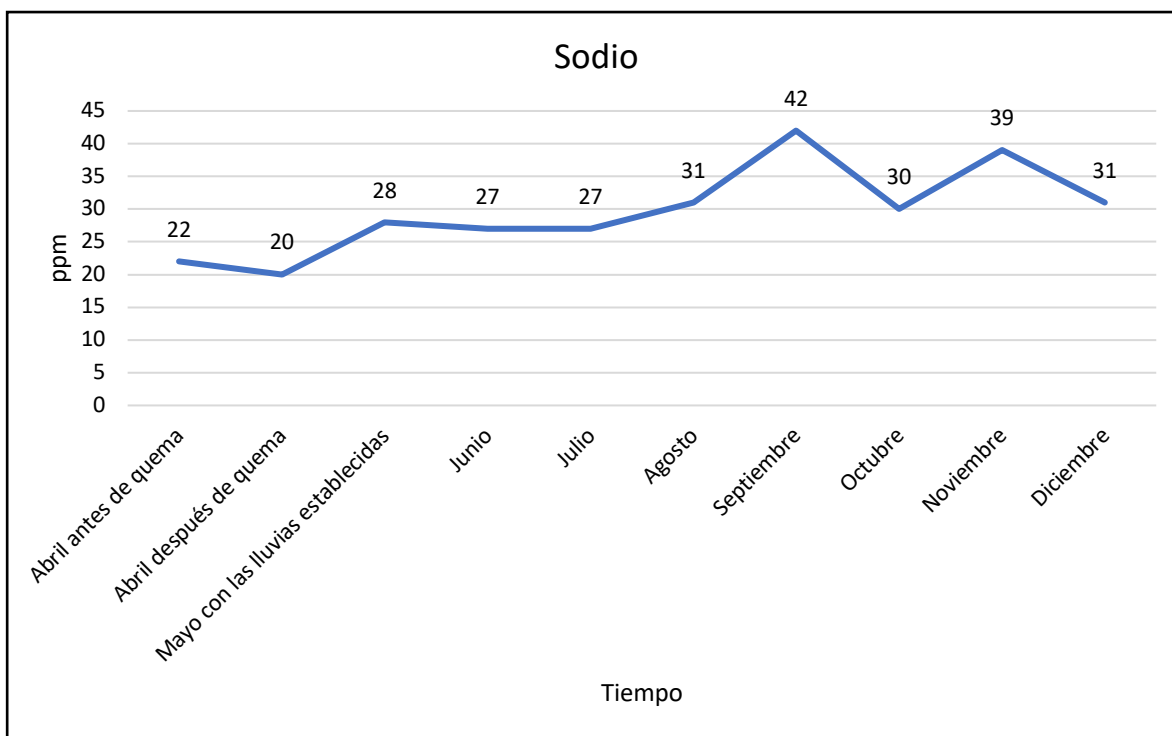


FIGURA 53. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

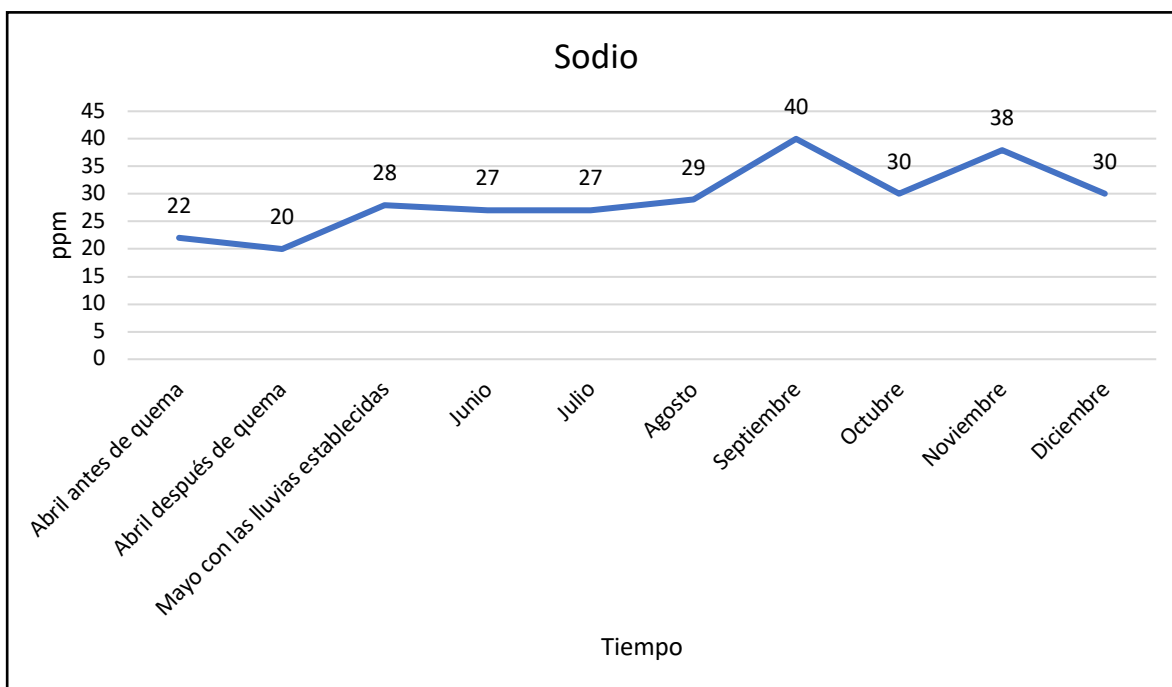


FIGURA 54. EVOLUCIÓN DEL SODIO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XVI. CONTENIDO DE HIERRO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	41	*
4/11/17	*	57	*
5/8/17	29	30	*
6/8/17	66	32	*
7/7/17	*	33	*
8/8/17	47	33	34
9/8/17	38	29	38
10/10/17	38	32	33
11/13/17	45	33	33
12/6/17	35	40	34

Fuente: cuadro elaborado por el autor

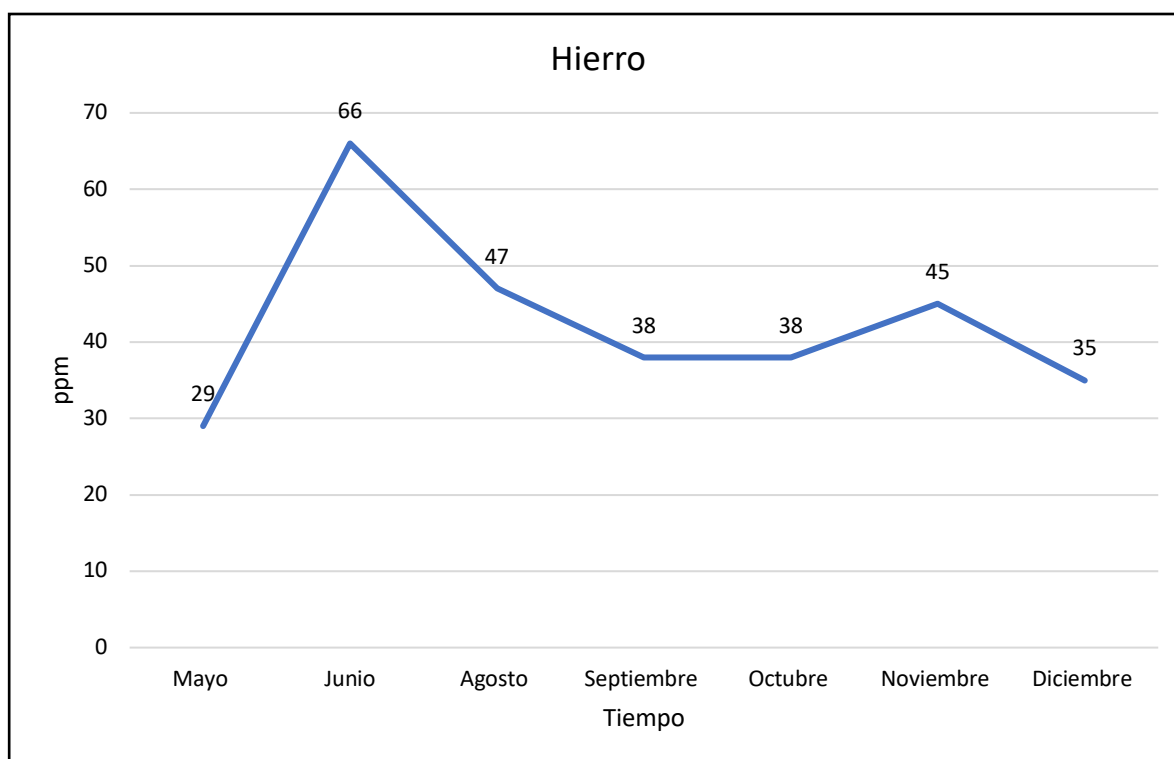


FIGURA 55. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

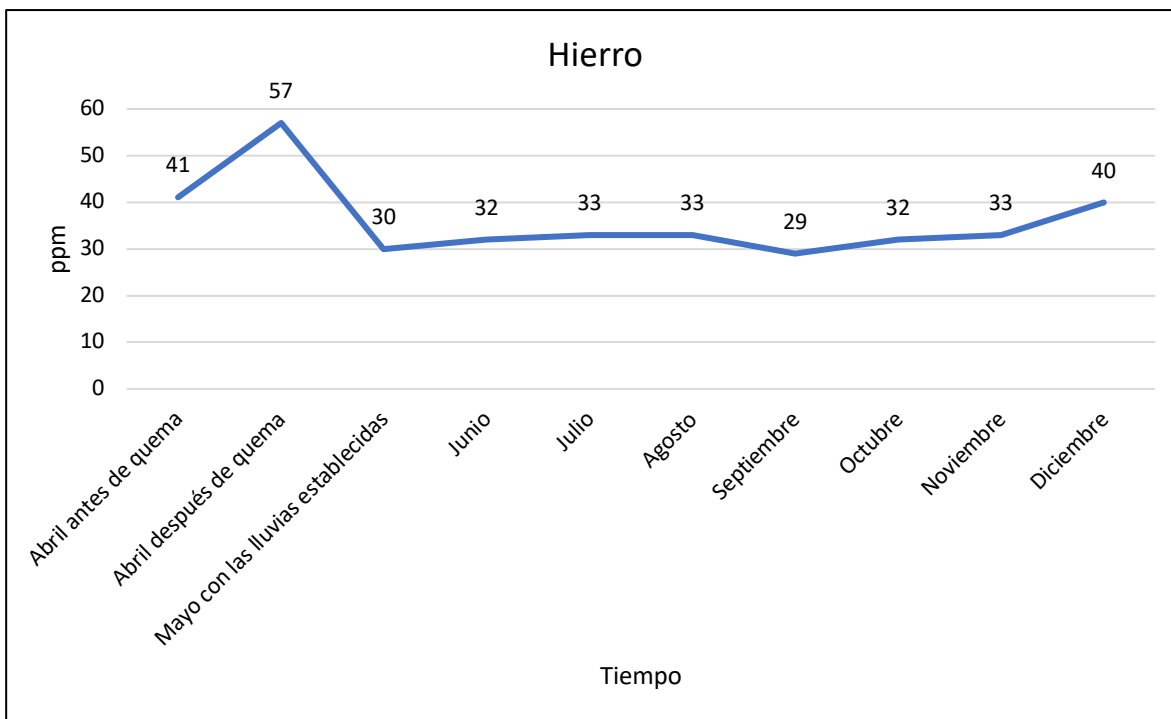


FIGURA 56. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

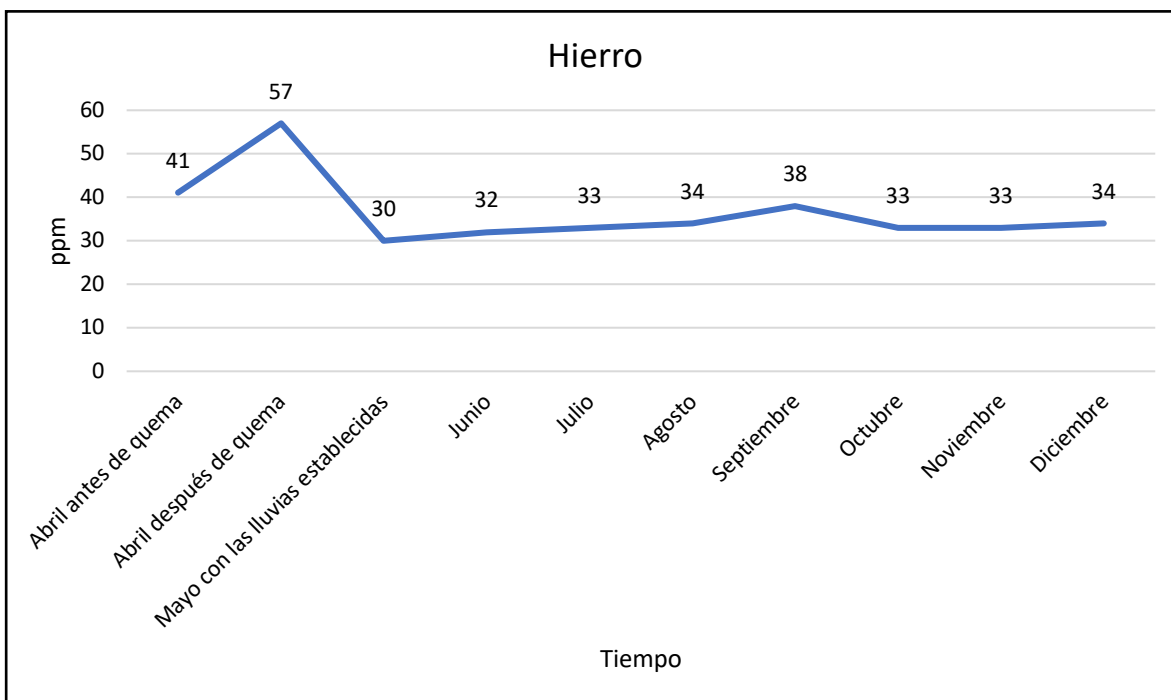


FIGURA 57. EVOLUCIÓN DEL HIERRO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XVII. CONTENIDO DE MANGANESO EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	91	*
4/11/17	*	95	*
5/8/17	42	53	*
6/8/17	25	47	*
7/7/17	*	27	*
8/8/17	14	29	23
9/8/17	8	26	23
10/10/17	7	20	18
11/13/17	6	26	17
12/6/17	9	25	17

Fuente: cuadro elaborado por el autor

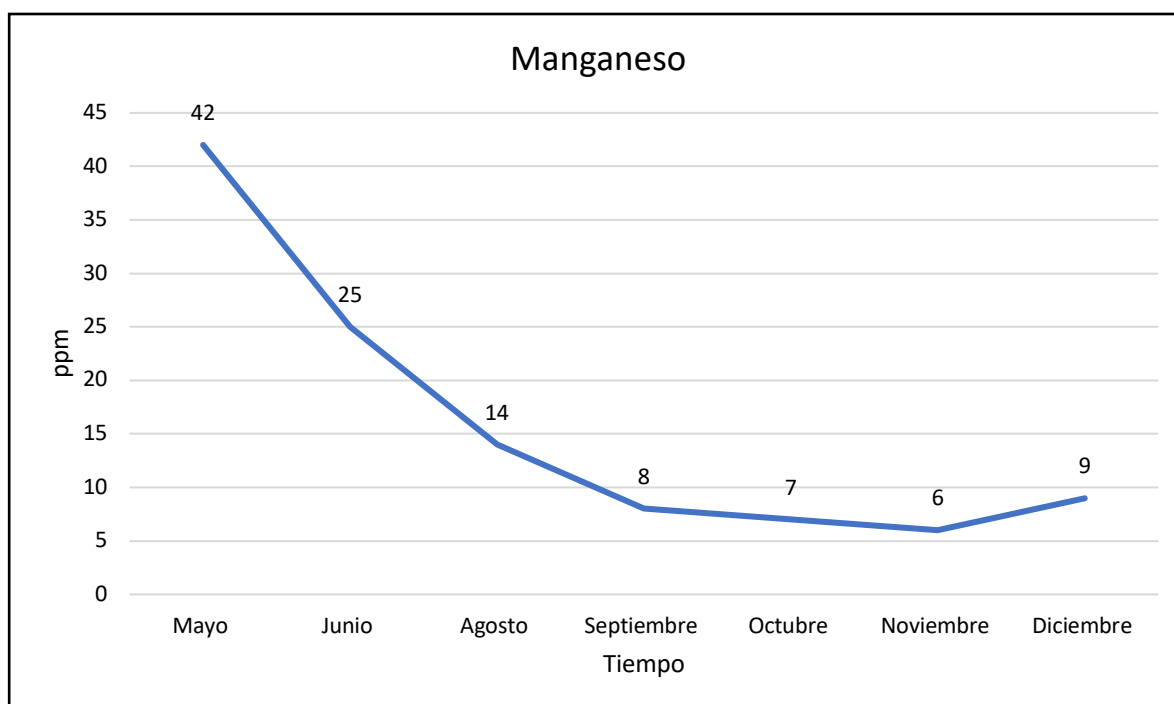


FIGURA 58. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

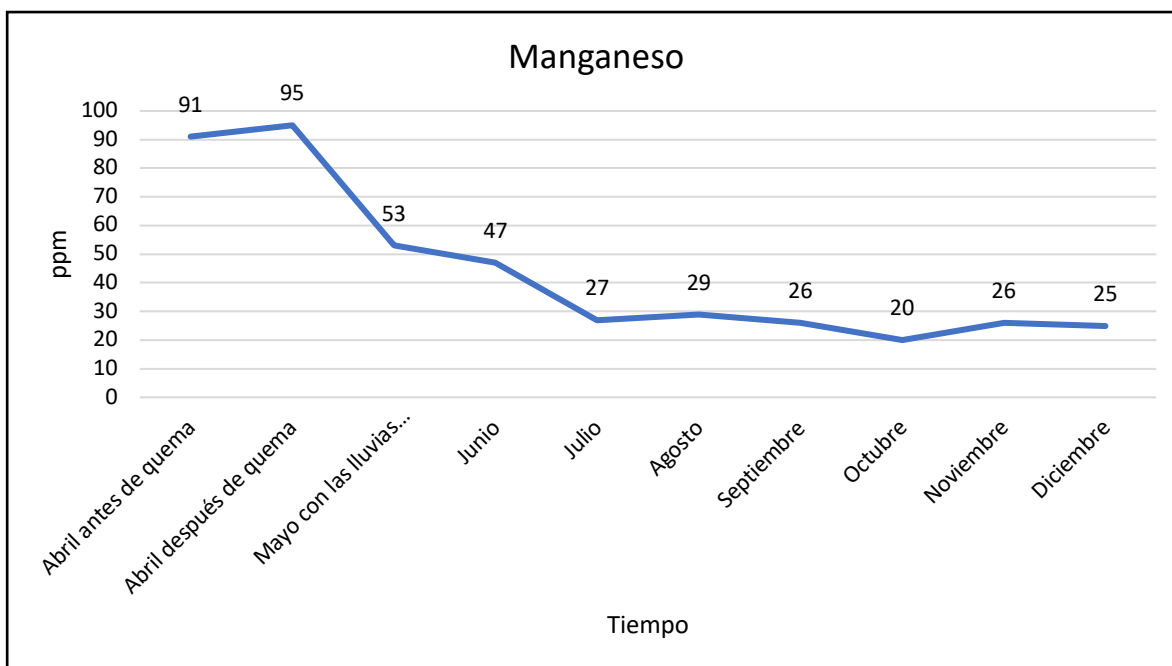


FIGURA 59. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1

Fuente: figura elaborada por el autor.

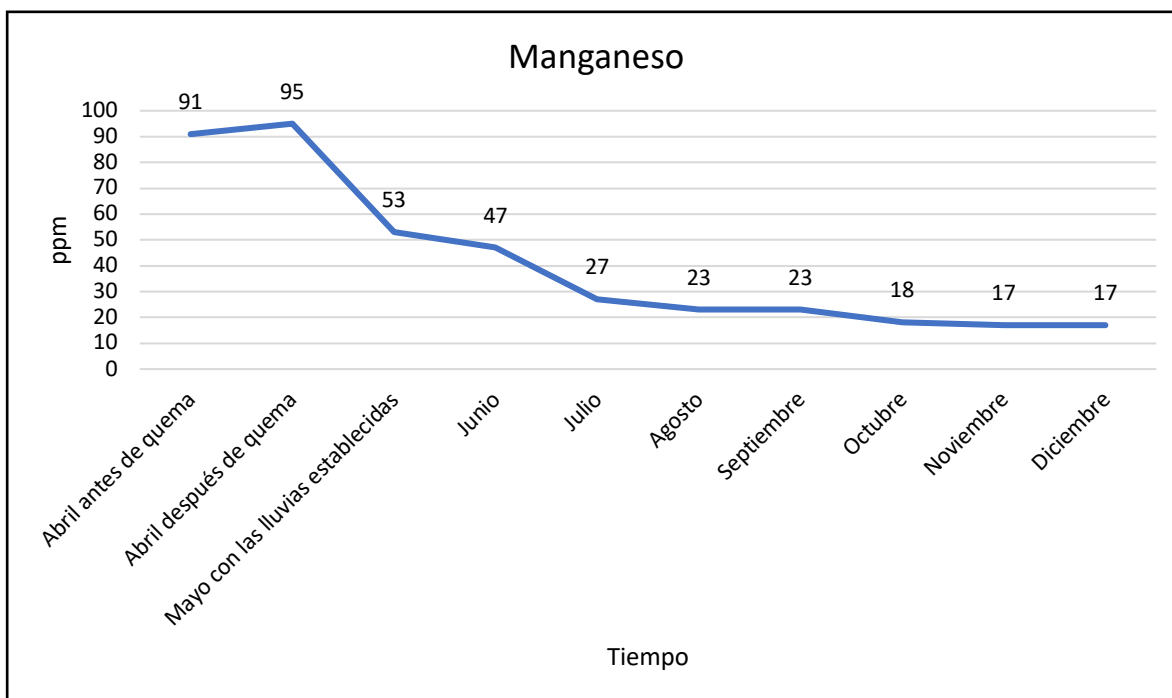


FIGURA 60. EVOLUCIÓN DEL MANGANESO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2

Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XVIII. CONTENIDO DE COBRE EN ppm DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	6	*
4/11/17	*	6	*
5/8/17	4	4	*
6/8/17	6	4	*
7/7/17	*	4	*
8/8/17	5	4	4
9/8/17	4	4	4
10/10/17	4	4	4
11/13/17	5	4	4
12/6/17	4	4	4

Fuente: cuadro elaborado por el autor

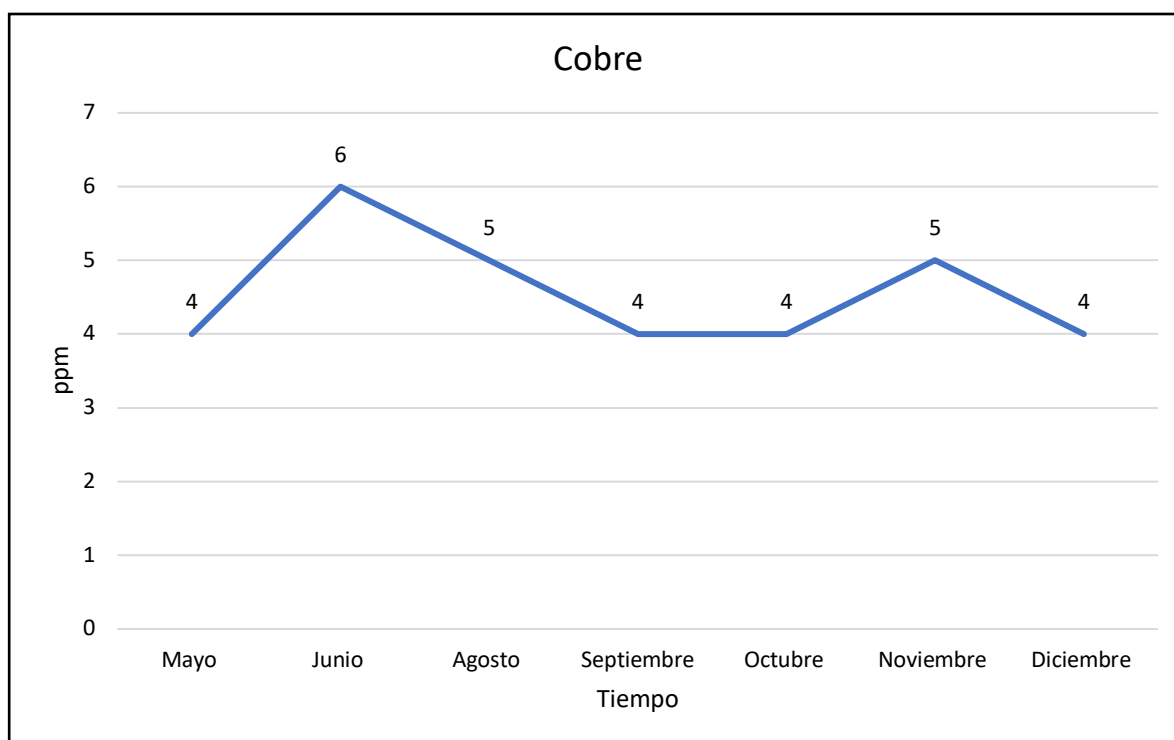


FIGURA 61. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA TESTIGO  
Fuente: figura elaborada por el autor

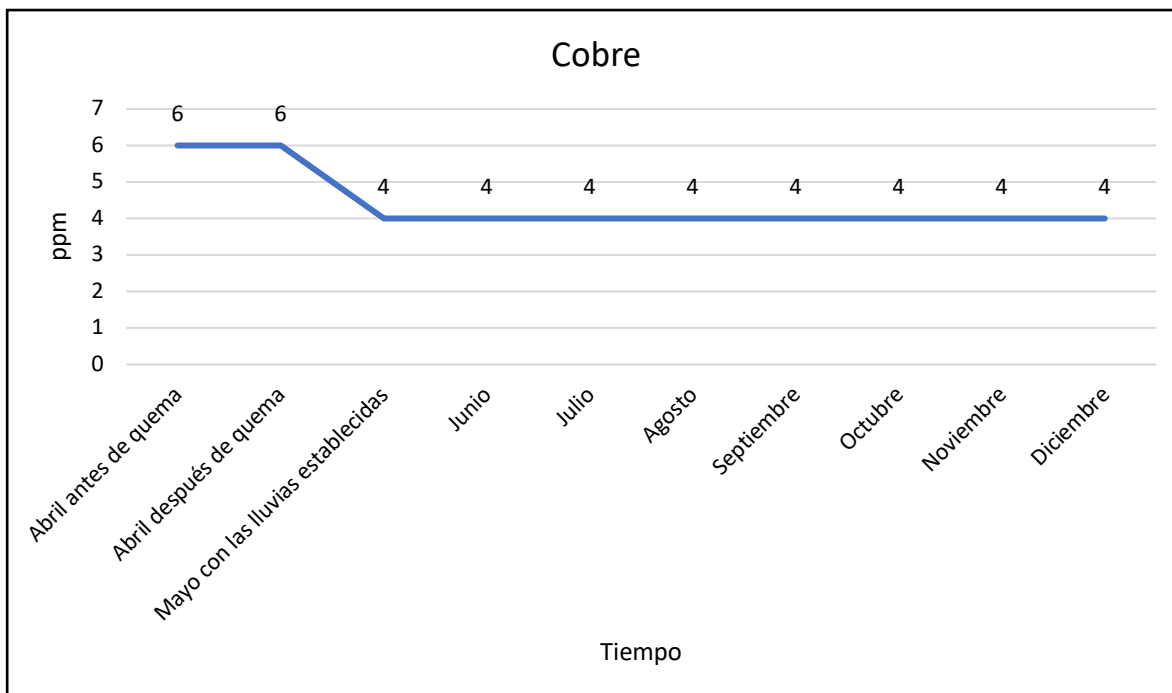


FIGURA 62. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

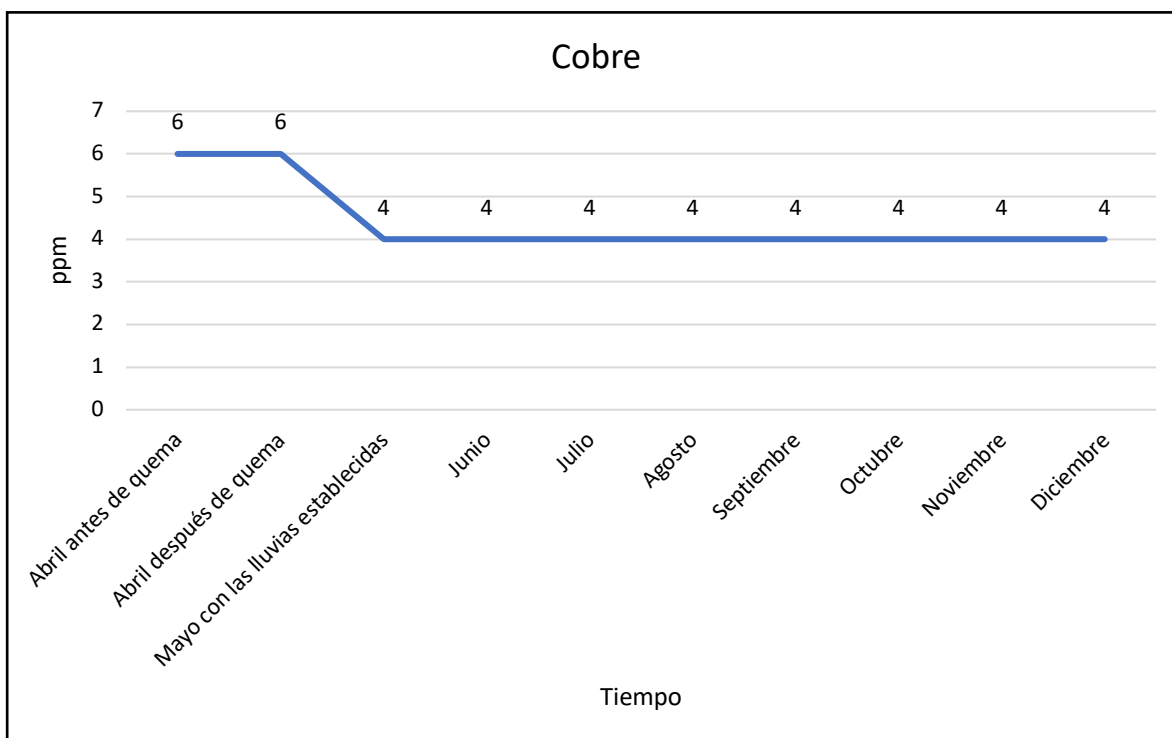


FIGURA 63. EVOLUCIÓN DEL COBRE EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

TABLA XIX. CONTENIDO DE ZINC EN PPM DISPONIBLE EN LAS PARCELAS ESTUDIADAS

Fecha	Parcela testigo	Parcela experimental 1	Parcela experimental 2
4/4/17	*	8	*
4/11/17	*	2	*
5/8/17	4	3	*
6/8/17	3	3	*
7/7/17	*	5	*
8/8/17	2	7	4
9/8/17	4	5	6
10/10/17	10	6	6
11/13/17	3	6	7
12/6/17	8	6	8

Fuente: cuadro elaborado por el autor

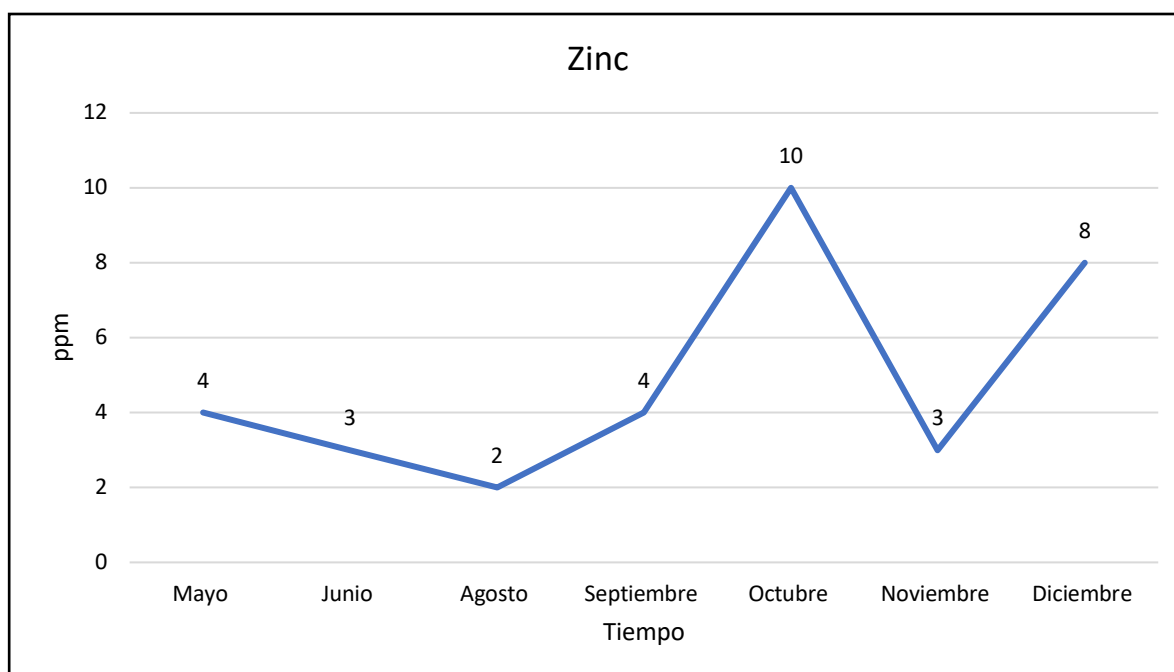


FIGURA 64. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA TESTIGO

Fuente: figura elaborada por el autor

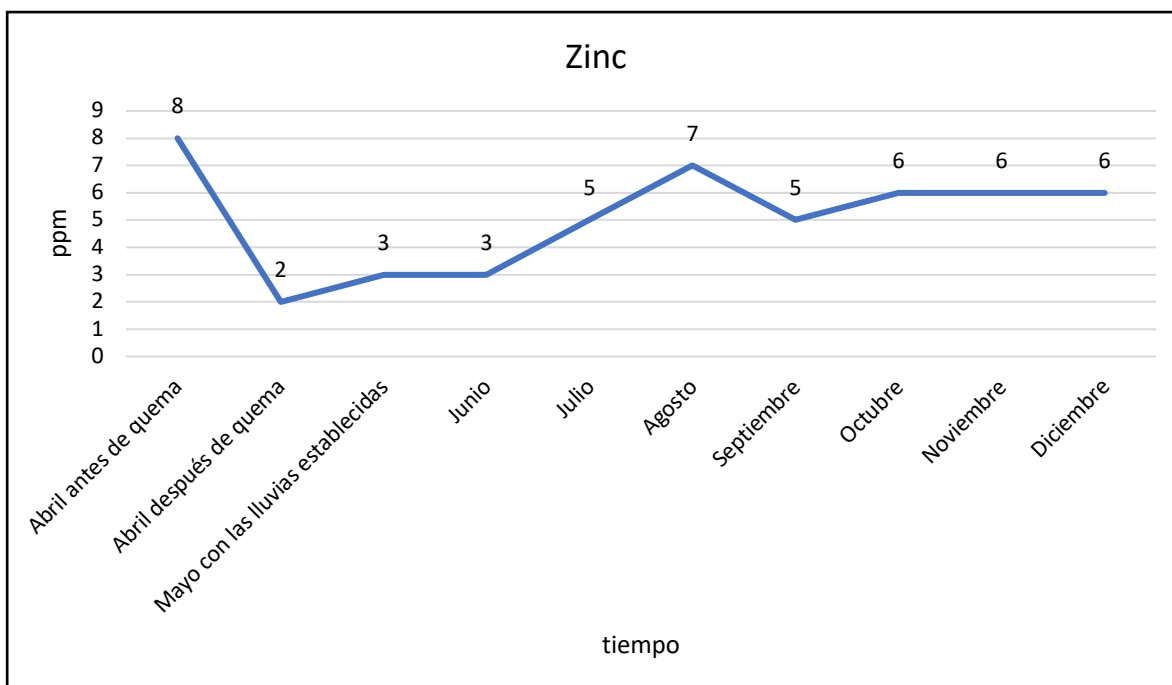


FIGURA 65. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura elaborada por el autor

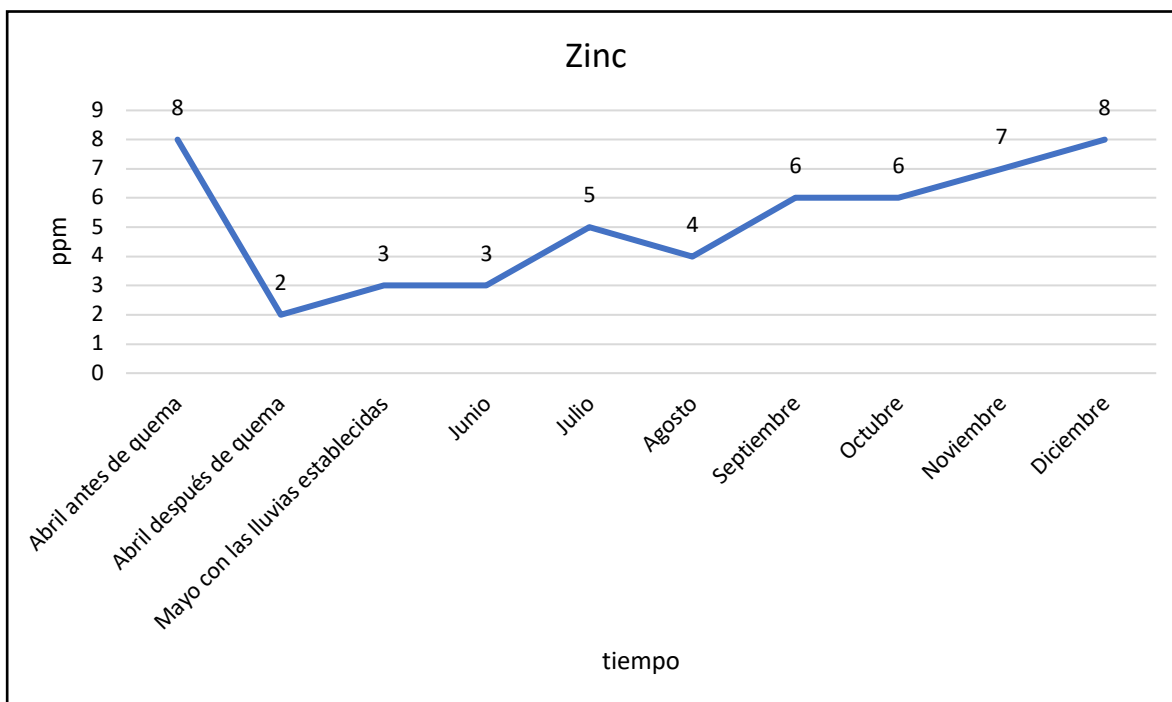


FIGURA 66. EVOLUCIÓN DEL ZINC EN LA PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura elaborada por el autor

CUADRO XX. RESULTADOS DE LOS TEST ANOVA REALIZADOS A CADA MICRONUTRIENTE

Nutriente	Valor F	Probabilidad	Valor crítico de F
Calcio	4.57*	0.021	3.40
Magnesio	5.94*	0.008	3.40
Sodio	4.84*	0.017	3.40
Hierro	1.23 ns	0.31	3.40
Manganeso	2.76 ns	0.083	3.40
Cobre	0.11 ns	0.90	3.40
Zinc	0.047 ns	0.95	3.40
(*) Diferencia significativa, (ns) no existe diferencia significativa			
Calcio			
Tratamiento	Media	Letra	
Experimental 1	13.14	A	
Experimental 2	12.31	A	
Testigo	7.10	B	
Magnesio			
Tratamiento	Media	Letra	
Experimental 1	7.16	A	
Experimental 2	6.61	A	
Testigo	4.11	B	
Sodio			
Tratamiento	Media	Letra	
Testigo	37.28	A	
Experimental 1	29.7	B	
Experimental 2	29.1	B	

Fuente: cuadro elaborado por el autor

Entre el tratamiento experimental 1 y experimental 2 no existen diferencias, sin embargo, comparado con el testigo si existen diferencias significativas atribuidas al incendio.

Como se observa en la tabla presentada con los resultados de los test ANOVA realizados, existen diferencias significativas en el contenido de calcio, magnesio y sodio.

Calcio: En nuestro testigo el calcio disminuyó considerablemente entre los meses de junio y agosto. Nuestras parcelas experimentales experimentaron una disminución inmediatamente producto de la quema, aunque una vez establecidas las lluvias recuperan los niveles iniciales antes del incendio, inclusive un poco más, pero a partir del mes de junio experimentan un descenso considerable parecido al ocurrido en la parcela testigo aunque manteniendo una mayor concentración del nutriente comparado con el testigo.

Magnesio: En el testigo disminuye su concentración levemente entre los meses de junio y agosto, sin embargo, a partir de septiembre, se comporta de una manera constante. En las parcelas experimentales, se comporta de una manera similar, sufre una disminución después del incendio y a partir del mes de junio se comporta de una manera constante.

Sodio: En la parcela testigo se comporta de una manera constante durante todo el ciclo de estudio. En nuestras parcelas experimentales sufre un aumento comparado con las cifras iniciales antes del incendio. A partir del establecimiento de las lluvias, se comporta de una manera más o menos constante.

Hierro: El testigo muestra un incremento en el mes de junio, para luego sufrir un descenso entre junio y agosto, luego se comporta de una manera más o menos constante durante el ciclo del estudio. En las parcelas experimentales, sufre un incremento luego del incendio, sin embargo, los niveles bajan a partir del establecimiento de las lluvias comportándose de una manera constante a partir del mes de mayo.

Manganeso: Con una disminución mantenida prácticamente durante todo el ciclo del estudio en nuestro testigo. En las parcelas experimentales, se logra un leve

incremento después del incendio, sin embargo, los niveles caen a partir de mayo, con el establecimiento de las lluvias. A partir del mes de agosto, se comportan más o menos constantes, aunque los niveles en la parcela experimental 2 son menores que en la experimental 1.

Cobre: Tanto en la parcela testigo como en las experimentales presentan casi las mismas concentraciones comportándose de una manera constante durante todo el ciclo del estudio. Este nutriente se ve poco afectado por el incendio.

Zinc: En la parcela testigo se dan bajos niveles, sin embargo, en el mes de octubre se da un incremento al igual que en diciembre, tal vez propiciados por la aleatorización de los puntos de muestreo. En las parcelas experimentales se registra un descenso luego del incendio, sin embargo, poco a poco se van incrementando los niveles hasta prácticamente llegar a los niveles iniciales antes del incendio, al finalizar el estudio.

Cabe destacar que las concentraciones de los micro-nutrientes son menores en la parcela experimental 2 comparado con la 1, debido a que las plantas cultivadas en ella presentaban de cierta manera una mejor nutrición y un menor ataque de plagas y enfermedades, estimulando una mayor absorción de nutrientes.

## 5.0 CONCLUSIONES

Se comprobó que los nutrientes esenciales (macros y micros) para el normal desarrollo de un cultivo se ven alterados negativamente en cuanto a concentración, por el empleo de la técnica de tala y quema, además de propiedades físicas (textura de suelo).

La textura del suelo se vió afectada negativamente debido a que el fuego destruye las partículas de arcilla. Estas liberan compuestos que actúan como cementantes provocando que aumente la concentración de arena y baje la de arcilla.

El pH disminuyó, influenciado por el fuego producto de la deshidratación de los coloides que provocan una reducción del efecto amortiguador en el suelo. Además del proceso de nitrificación y lavado de cenizas producto de las lluvias.

La CICE disminuyó, principalmente por la alteración del pH influenciada por el fuego.

El porcentaje de saturación de bases disminuyó por el lavado de las cenizas que contienen los cationes por eluviación causada por las lluvias.

El potasio mantuvo los niveles más altos en las parcelas quemadas producto de la liberación de las cenizas y a consecuencia de la falta de vegetación, no hay exportación del mismo.

El nitrógeno disminuyó producto de la quema que destruye parte de la materia orgánica, además de que las altas temperaturas producen la volatilización de

este elemento, pero también tiende a recuperarse por la descomposición del material semi-pirolizado, que posteriormente pasa a materia orgánica y la misma a nitrógeno.

El nivel de fósforo aumentó por el efecto de la quema explicando que no hubo volatilización del mismo y que por su inmovilidad en el suelo no sufre el lavado que tienen las bases.

La concentración de calcio y magnesio bajó ocasionado por el lavado producido por las lluvias.

La forma de agricultura migratoria de subsistencia de tala y quema no es efectiva desde un punto de vista nutricional debido a que la mayor parte de los nutrientes se liberan inicialmente en las cenizas, pero por efectos de las lluvias en el lavado del suelo se producen las pérdidas. Además de que con la pérdida de materia orgánica se aumenta la erosionabilidad del suelo al disminuir compuestos arcillo-húmicos.

## 6.0 RECOMENDACIONES

El método de agricultura de subsistencia de tala y quema ofrece la facilidad de lograr limpiar y despejar un área determinada rápidamente. Además de ser económica, baja en cierta medida los inóculos de plaga (insectos, hongos, malezas, etc.). Sin embargo, a nivel de fertilidad de suelos ocurren una serie de cambios negativos en el mismo, principalmente la disminución acelerada de la concentración de los nutrientes fundamentales para el desarrollo de los cultivos, provocando un empobrecimiento del suelo. Este autor recomienda emplear esta técnica solamente como última opción para la preparación del suelo, ya que son más los perjuicios que recibe el suelo, tanto físico como químico, que los beneficios que se puedan obtener del mismo.

## 7.0 REFERENCIAS CITADAS

- Afif K, E; Oliveira P, J.A. 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo (en línea). Mieres, ES. Consultado 2 jul. 2018. Disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/download/2230/1638>
- Agee JK. 1993. Fire ecology on Pacific Northwest (en línea). Washington, D.C. Estados Unidos. Consultado 14 ene. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/43410231\\_Fire\\_Ecology\\_of\\_Pacific\\_Northwest\\_Forests](https://www.researchgate.net/publication/43410231_Fire_Ecology_of_Pacific_Northwest_Forests)
- Almendros, G.; Polo, A.; Ibañez, J. J.; & Lobo, M. C. 1984. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. I.- Transformaciones del humus en un bosque de pinus pinea del centro de España (en línea). Rev. Ecol. Biol. Sol. 21. Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Ibanez3/publication/255718058\\_Contribucion\\_al\\_estudio\\_de\\_la\\_influencia\\_de\\_los\\_incendios\\_forestales\\_en\\_las\\_caracteristicas\\_de\\_la\\_materiaorganica\\_del\\_suelo\\_I\\_Transformaciones\\_del\\_humus\\_en\\_un\\_bosque\\_de\\_Pinus\\_pinea\\_del\\_Centro\\_de\\_Espa/links/02e7e520664c5c3bf9000000/Contribucion-al-estudio-de-la-influencia-de-los-incendios-forestales-en-las-caracteristicas-de-la-materiaorganica-del-suelo-I-Transformaciones-del-humus-en-un-bosque-de-Pinus-pinea-del-Centro-de-Espa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Ibanez3/publication/255718058_Contribucion_al_estudio_de_la_influencia_de_los_incendios_forestales_en_las_caracteristicas_de_la_materiaorganica_del_suelo_I_Transformaciones_del_humus_en_un_bosque_de_Pinus_pinea_del_Centro_de_Espa/links/02e7e520664c5c3bf9000000/Contribucion-al-estudio-de-la-influencia-de-los-incendios-forestales-en-las-caracteristicas-de-la-materiaorganica-del-suelo-I-Transformaciones-del-humus-en-un-bosque-de-Pinus-pinea-del-Centro-de-Espa.pdf)

- Andriessse, J. P.; Schelhaas, R. M. 1987. A monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in tropical Asia. III. The effects of land clearing through burning on fertility level (en línea). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 19. Consultado 10 de ene. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880987900594>
- Axayacatl, Olmo; 2017. Nutrición vegetal: importancia del fósforo (P) en las plantas (en línea). MX. Consultado 21 abril 2018. Disponible en <https://blogagricultura.com/nutricion-vegetal-fosforo/>
- Baker, J.L. and Laflen, J.M. 1983. Water quality consequences of conservation tillage (en línea). *Journal of Soil & Water Conservation*, Ankeny, 38(3). Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://www.jswconline.org/content/38/3/186.extract>
- Bandy, D., Garrity, D., y Sánchez, P. 1994. El Problema Mundial de la Agricultura de Tala y Quema (en línea). *Agroforestería en las Américas* no. 03. Consultado 13 jul. 2017. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0975e/A0975e.pdf>
- Beyers, J., Brown, J., Busse, M., Debano, L., Elliot, W., Folliott, P. et al. (2008). Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water (en línea). Lincoln, EUA. Consultado 19 jun. 2018. Disponible en [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf)
- Birch, H. F. 1964. Mineralization on plant nitrogen following alternate wet and dry conditions (en línea). *Plant Soil*, 20. Consultado 28 jun. 2017. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01378096>

- Blueberries, CL. 2017. El Suelo, la Gran Víctima de los Incendios Forestales (en línea). Santiago, CL. Consultado 15 jun. 2017. Disponible en <http://www.blueberrieschile.cl/el-suelo-la-gran-victima-de-los-incendios-forestales/>
- Casanova, Eduardo 2005. Introducción a la Ciencia del Suelo (en línea). Caracas, VE. Consultado el 9 may. 2018. Disponible en <https://books.google.com.pa/books?id=k4FXuHW1ozQC&printsec=frontcover&dq=introducción+a+la+ciencia+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjN8Zy9svDbAhUBnlkKHUxXAFsQ6AEIJTAA>
- Carreira, J. A. and Niell, F. X. 1995. Mobilization of nutrients by fire in a semiarid Gorse-Scrubland ecosystem of southern Spain (en línea). *Arid Soil Res. Rehab.*, Vol. 9. Consultado 25 Abril 2018. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15324989509385875>
- Casierra, F, & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-256.
- Certini, Giacomo; 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review (en línea). Consultado 3 jul.2018. disponible en: [http://webdoc.agsci.colostate.edu/soilcrop/Course/SOCR571\\_Reading23.pdf](http://webdoc.agsci.colostate.edu/soilcrop/Course/SOCR571_Reading23.pdf)
- Corbella, Roberto; Fernández de U, Juan. Sin fecha. *Materia Orgánica del Suelo* (en línea). San Miguel de Tucumán, Argentina. Consultado 4 jul.2018. disponible en: <https://www.edafologia.org/app/download/7953479876/Materia+Organica+del+Suelo.pdf?t=1494945225>

- DeBano, L.F.; Conrad, C.E. 1978. Effects of fire on nutrients in a chaparral ecosystem (en línea). *Ecology* 59. Consultado 28 Abril 2018. Disponible en <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2307/1936579>
- DeBano LF. 1990. The effect of fire on soil properties (en línea). Idaho, Estados Unidos. Consultado 13 ene. 2018. Disponible en <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/42163>
- DeBano, L.F.; Klopatek, J.M. 1988. Phosphorus dynamics of pin- yon-juniper soils following simulated burning (en línea). *Soil Science Society of American Journal* 52. Consultado 22 Abril 2018. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/52/1/SS0520010271?access=0&view=pdf>
- DeBano, L.F.; Klopatek, J.M. 1988. Phosphorus dynamics of pin- yon-juniper soils following simulated burning (en línea). *Soil Science Society of American Journal* 52. Consultado 22 Abril 2018. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/52/1/SS0520010271?access=0&view=pdf>
- DeBano, L.F. 1991. The effect of fire on soil (en línea). US. Consultado 20 abril 2018. Disponible en [https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_int/int\\_gtr280/int\\_gtr280\\_151\\_156.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr280/int_gtr280_151_156.pdf)
- Delgado H, Mario 2015. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal (en línea). Villavicencio, CO. Consultado 15 may. 2018. Disponible en [https://www.oriusbiotech.com/escrito?nom=Los\\_microorganismos\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_nutrici3n\\_vegetal](https://www.oriusbiotech.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutrici3n_vegetal).

- Demagnet F, Rolando 2017. Aluminio (en Línea). Frontera, CH. Consultado 5 jul. 2018. Disponible en: <http://www.watts.cl/docs/default-source/charlas-a-productores/aluminio.pdf?sfvrsn=2>
- Dudley, J. L. and Lajtha, K. 1993. The effects of prescribed burning on nutrient availability and primary production in sandplain grasslands (en línea). *Am. Midl. Nat.* 130. Consultado 5 jul. 2017. Disponible en [https://www.jstor.org/stable/2426128?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2426128?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Fenton, Megan; Albers, Carl; Ketterings, Quirine; 2008. Soil Organic Matter (en línea). Agronomy fact sheet series, fact sheet 41. US. Consultado 1 may. 2018. Disponible en <http://franklin.cce.cornell.edu/resources/soil-organic-matter-fact-sheet>
- Garzón, T. (2003). Estudio de la compartimentación celular en plantas modelo sometidas a estrés por aluminio (en línea). Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. España.
- Gonzalez, J.; Cala, V. and Iglesias, T. 1996. Forms of Mn in soils affected by a forest fire (en línea). *Sci. Total Environ.*, 181. Consultado 13 jun. 2017. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048969795050221>
- Grove, T.S.; O'Connell, A.M.; Dimmock, G.M. 1986. Nutrient changes in surface soils after an intense fire in jarrah forest (en línea). *Australian Journal of Ecology* 11. Consultado 20 Abril 2018. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1442-9993.1986.tb01400.x>

- Gruposacsa, MX. 2016. ¿Qué es la saturación de bases en los suelos? (en línea). MX. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en: <http://www.gruposacsa.com.mx/que-es-la-saturacion-de-bases-en-los-suelos/>
- Guerrero Maestre, C. 1998. Aplicación de un compost de residuos sólidos urbanos a un suelo forestal quemado: Evolución de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas (en línea). Tesis de Licenciatura. Alicante, España.
- Harold A. Wright, Henry A. Wright, Arthur W. Bailey; 1982. Fire Ecology: United States and Southern Canada (en línea). Canada and US. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en: <https://books.google.com.pa/books?id=H7NWDSNcGVkC&pg=PR4&dq=fire+ecology:+United+States&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiq7KKEh4fcAhUtvIkKHXfsCPAQ6AEIOjAD#v=onepage&q=fire%20ecology%3A%20United%20States&f=false>
- Henry D. Foth, 1990. fundamentals of soil science 8e (en línea). Michigan, US. Consultado 24 abril 2018. Disponible en [http://www.univpgri-palembang.ac.id/perpusfkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Tanah/Henry\\_D.\\_Foth-Fundamentals\\_of\\_Soil\\_Science-Wiley\(1990\).pdf](http://www.univpgri-palembang.ac.id/perpusfkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Tanah/Henry_D._Foth-Fundamentals_of_Soil_Science-Wiley(1990).pdf)
- Hernández, T.; García, C. and Reinhardt, I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils (en línea). Biol. Fertil. Soils 25. Consultado 3 jul. 2017. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s003740050289>

- Kabata-Pendias, A and Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants (en línea). Florida, Estados Unidos. Consultado 9 jul. 2017. Disponible en <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
- Kutiel, P.; Naveh, Z. 1987. Soil properties beneath *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* trees on burned and unburned mixed forest on Mt. Carmel, Israel (en línea). *Forest Ecology and Management* 20. Consultado 24 Abril 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112787901472>
- Kutiel, P. and Shaviv, A. 1989. Effect of simulated forest fire on the availability of N and P in mediterranean soils (en línea). *Plant Soil* 120. Consultado 25 abril 2018. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02370290>
- López, Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby 2013. Química (11a. ed. edición, en línea). Consultado 5 may. 2018. Disponible en [https://archive.org/stream/QQuimica11vaEdicionRaymondChang\\_201706/%28Q%29Qu%C3%ADmica%2C%2011va%20Edicion%20-%20Raymond%20Chang\\_djvu.txt](https://archive.org/stream/QQuimica11vaEdicionRaymondChang_201706/%28Q%29Qu%C3%ADmica%2C%2011va%20Edicion%20-%20Raymond%20Chang_djvu.txt)
- López Jordán, A. 2005. MANUAL DE EDAFOLOGÍA (en línea). Sevilla, ES. Consultado 19 jun. 2018. Disponible en <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>

- Lupi, Ana María; 2001. Los Fertilizantes Nitrogenados y la Acidificación del Suelo (en línea). Alabama, US. Consultado 18 may. 2018. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Los%20Fertilizantes%20Nitrogenados%20y%20la%20Acidificacion%20del%20Suelo.asp>
- Mangas, V. J.; Sanchez, R. J. and Ortiz, C. 1992. Effects of fire on runoff and erosion on mediterranean forest soil in SE-Spain (en línea). Pirineos, 140. Consultado 29 jun. 2017. Disponible en <http://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/view/171>
- Martínez Sánchez, J. J. 1994. Dinámica de la vegetación post-incendio en la provincia de Albacete y zonas limítrofes de la provincia de Murcia (Sureste de España) (en línea). Tesis Doctoral. Murcia, España. Universidad de Murcia.
- Mckenzie, Ross H 2003. Soil pH and Plant Nutrients (en línea). Consultado 7 may. 2018. Disponible en [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex6607](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex6607)
- Mehdi Norouzi and Hassan Ramezanpour, 2013. Effect of Fire on Chemical Forms of Iron and Manganese in Forest Soils of Iran (en línea). Rasht, Iran. Consultado 3 jul. 2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257640184\\_Effect\\_of\\_Fire\\_on\\_Chemical\\_Forms\\_of\\_Iron\\_and\\_Manganese\\_in\\_Forest\\_Soils\\_of\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/257640184_Effect_of_Fire_on_Chemical_Forms_of_Iron_and_Manganese_in_Forest_Soils_of_Iran)
- Miller, Jarrod O. 2016. Soil pH Affects Nutrient Availability (en línea). Universidad de Maryland, Fact Sheet FS-1054. Consultado 9 may. 2018. Disponible en <https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/18519/FS-1054%20Soil%20pH%20and%20Nutrient%20Availibility.pdf>

- NAU, US. Sin fecha. Fire Effect on Soil (en línea). Arizona, US. Consultado 2 jul. 2018. Disponible en <http://www2.nau.edu/~gaud/bio300w/frsl.htm>
- Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., eds. 2005. Wildland Fire in Ecosystems (en línea). US. Consultado 25 abril 2018. Disponible en [https://www.firescience.gov/projects/98-S-01/project/Soil\\_and\\_Water.pdf](https://www.firescience.gov/projects/98-S-01/project/Soil_and_Water.pdf)
- Rainforest Saver, Escocia, 2017. ¿Qué es la Agricultura de Talar y Quemar? (en línea). Escocia. Consultado 23 jun. 2017. Disponible en <http://www.rainforestsaver.org/es/¿qué-es-la-agricultura-de-talar-y-quemar>
- Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review (en línea). *Plant and Soil* 51. Consultado 22 Abril 2018. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/42935168>
- Raison, R. J.; Khanna, P. K. and Woods. P. V. 1985. Transfer of elements to the atmosphere during low- intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forest (en línea). *Can. J. Forest Res.* 15. Consultado 5 jul. 2017. Disponible en <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x85-107#.Wp3R6GbSEdU>
- Raison, R.J.; Khanna, P.K.; Woods, P.V. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires (en línea). *Canadian Journal of Forest Research* 15. Consultado 20 abril 2018. Disponible en [http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/x85-022#.WzLHvy\\_SHUo](http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/x85-022#.WzLHvy_SHUo)
- Ribeiro Filho, Alexandre Antunes; Adams, Cristina; Murrieta, Rui Sergio Sereni 2013. The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review (en línea). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 8, n.

3. Consultado 15 ene. 2018. Disponible en  
<http://www.scielo.br/pdf/bgoeldi/v8n3/13.pdf>

Romanya, J.; Khanna, P.; Raison, R.J. 1994. Effects of slash burning of soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus (en línea). *Forest Ecology and Management* 65. Consultado 20 abril 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112794901619>

Rout, G., Samantara, S., & Das, P. 2001. Aluminum toxicity in plants: A review (en línea). *Agronomie*, 21(1), 3-21. Consultado 20 abr. 2018. Disponible en <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886101/document>

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M.; 2004. *Propiedades físicas del suelo* (en línea). Montevideo, UY. Consultado 19 jun. 2018. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Saa, A.; Trasar-Cepeda, M.C.; Gil-Sotres, F.; Carballas, T. 1993. Changes in soil phosphorus and acid phosphatase activity immediately following forest fires (en línea). *Soil Biology Biochemistry* 25. Consultado 25 Abril 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179390218Z>

Sanzano, Agustin; sin fecha. *El Potasio del Suelo* (en línea). Consultado 2 jul. 2018. Disponible en [https://www.edafologia.org/app/download/7956241476/El+Potasio+del+suelo.p  
df?t...](https://www.edafologia.org/app/download/7956241476/El+Potasio+del+suelo.pdf?t...)

- Sertsu, S. M. & Sanchez, P. A. 1978. Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an Ethiopian land management practice (en línea). Soil Sci. Soc Am. J. 42. Consultado 14 jun. 2017. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/42/6/SS0420060940?search-result=1>
- Smart-fertilizer 2017, US. La Acidez del Suelo (en línea). US. Consultado el 12 may. 2018. Disponible en <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-acidity>
- Smart-fertilizer, sin fecha. El Fósforo en el Suelo y las Plantas (en línea). US. Consultado 20 abril 2018. Disponible en <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/phosphorus>
- Soilquality 2018, AU. Soil Acidity (en línea). Australia. Consultado el 12 de may. 2018. Disponible en <http://soilquality.org.au/factsheets/soil-acidity>
- Solera, JM. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral. Alicante, España, Universidad de Alicante. 330 p.
- Soto, B.; Benito, E. and Díaz-Fierros, F. 1990. Heat-induced degradation processes in forest soils (en línea). Proc. Inter. Conf. Forest Fire Res. C.04, Coimbra. Portugal. Consultado 25 jun. 2017. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/248885357\\_Heat-Induced\\_Degradation\\_Processes\\_in\\_Forest\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/248885357_Heat-Induced_Degradation_Processes_in_Forest_Soils)

- Sparks, Donald L. Sin fecha. Dynamics of K in Soils and Their Role in Management of K Nutrition (en línea). Consultado 2 jul. 2018. Disponible en <https://www.ipipotash.org/udocs/Dynamics%20of%20K%20in%20Soils%20and%20Their%20Role%20in%20Management%20of%20K%20Nutrition.pdf>
- Solis, Jorge; 1981. Fundamentos de Edafología (en línea). San José, CR. Consultado el 18 may. 2018. Disponible en <https://books.google.com.pa/books?id=dpAChUt7xxoC&printsec=frontcover&q=fundamentos+de+edafolog%C3%ADa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjyZ2bvPDbAhXOpFkKHSvqA6EQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false>
- Tang, Y., Garvin, D., Sorrells, M., & Carver, B. (2002). Physiological genetics of aluminum tolerance in the wheat cultivar Atlas 66. *Crop Science*, 42(5), 1541-1555.
- Tejeira, Reinmar. 2017. La Acidez de los Suelos suelos de Panamá (en línea). Panamá, Panamá. Consultado 5 may. 2018. Disponible en [http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f\\_agropecuaria/documentos/INVT2.pdf](http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f_agropecuaria/documentos/INVT2.pdf)
- Ulery, A. L.; Graham, R. C. 1993. Wood-ash composition and soil pH following intense burning (en línea). *Soil Sci.* 156 (5). Consultado 18 jun. 2017. Disponible en [https://journals.lww.com/soilsci/abstract/1993/11000/wood\\_ash\\_composition\\_and\\_soil\\_ph\\_following\\_intense.8.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/abstract/1993/11000/wood_ash_composition_and_soil_ph_following_intense.8.aspx)
- Ulery, A.L.; Graham, R. C. 1993. Forest fire effects on soil color and texture (en línea). *Revista sociedad de ciencias del suelo de América*. Número 57: 135-140. Consultado 19 jun. 2018. Disponible en

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/57/1/SS0570010135?access=0&view=pdf>

Ulery, A. L.; Graham, R. C.; Chadwick, O. A. and Wood, H. B. 1995.

Decadescale changes of soil carbon, nitrogen and exchangeable cations under chaparral and pine (en línea). *Geoderma*, 65. Consultado 13 jun. 2017.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706194000348>

Wells, C. G. 1981. Some effects of bushfires on erosion processes in coastal

Southern California. *Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands* (en línea). IAHS Pub, no 132 Christchurch. Consultado 27 jun.

2017. Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/279571578\\_Some\\_effects\\_of\\_brushfires\\_on\\_erosion\\_processes\\_in\\_coastal\\_southern\\_California](https://www.researchgate.net/publication/279571578_Some_effects_of_brushfires_on_erosion_processes_in_coastal_southern_California)

Wright HA, AW Bailey. 1982. *Fire Ecology, United States and Southern*

*Canada* (en línea). Nueva York, Estados Unidos. Consultado 13 ene. 2018.

Disponible en [https://www.wiley.com/en-](https://www.wiley.com/en-us/Fire+Ecology%3A+United+States+and+Southern+Canada-p-9780471090335)

[us/Fire+Ecology%3A+United+States+and+Southern+Canada-p-](https://www.wiley.com/en-us/Fire+Ecology%3A+United+States+and+Southern+Canada-p-9780471090335)

[9780471090335](https://www.wiley.com/en-us/Fire+Ecology%3A+United+States+and+Southern+Canada-p-9780471090335)

## 8.0 ANEXOS



FIGURA 67. PARCELA EXPERIMENTAL ANTES DE DIVIDIR  
Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 68. PARCELA EXPERIMENTAL 1  
Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 69. PARCELA EXPERIMENTAL 2  
Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 70. PARCELA TESTIGO  
Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 71. SECADO DE MUESTRAS  
Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 72. ATAQUE DE PLAGAS Y DEFICIENCIAS EN LAS PARCELAS

Fuente: figura obtenida por el autor

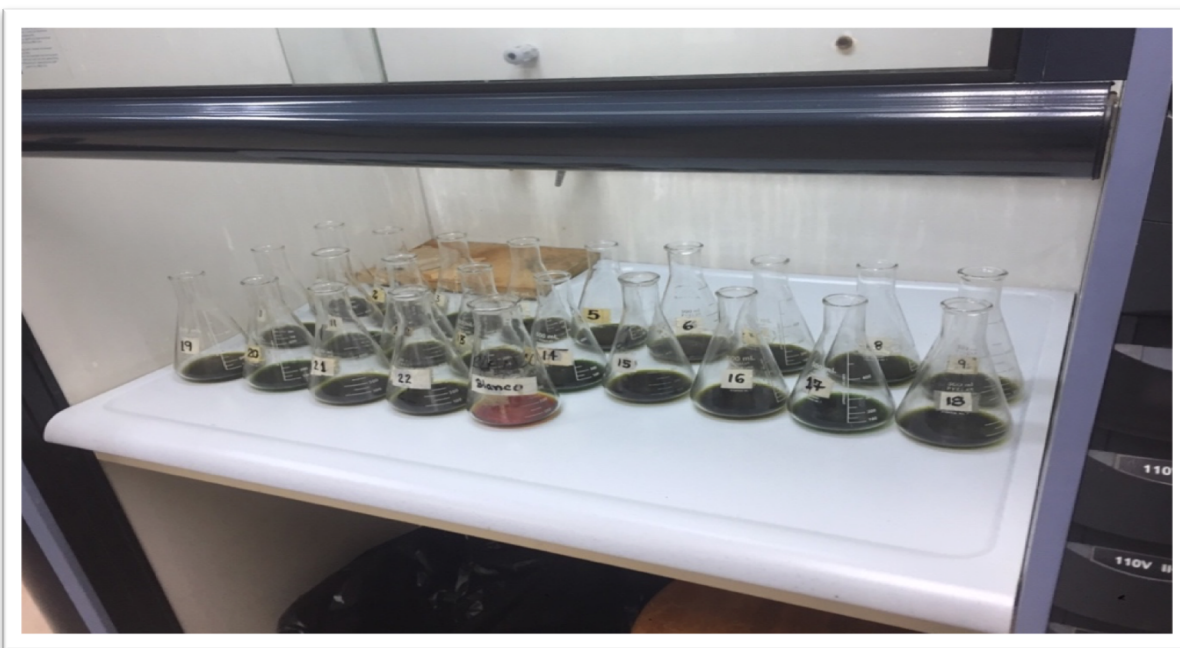


FIGURA 73. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Fuente: figura obtenida por el autor



FIGURA 74. DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA  
Fuente: figura obtenida por el autor

CUADRO XXII. NIVELES CRÍTICOS PARA LOS NUTRIENTES

Elemento	Valores	Interpretación	Elemento	Valores	Interpretación
<b>P</b>	0 – 18	Bajo	<b>Fe</b>	0 - 25.0	Bajo
	19 – 54	Medio		25.1 – 75.0	Medio
	55 +	Alto		0 – 14.0	Alto
<b>K</b>	0 – 44	Bajo	<b>Mn</b>	0 – 14.0	Bajo
	45 – 150	Medio		14.1 – 49.0	Medio
	151 +	Alto		49.1 +	Alto
<b>Ca</b>	0 – 2.0	Bajo	<b>Zn</b>	0 – 4.0	Bajo
	2.1 - 5.0	Medio		4.1 – 14.0	Medio
	5.1 +	Alto		14.1 +	Alto
<b>Mg</b>	0 – 0.6	Bajo	<b>pH</b>	4.0 – 5.1	Muy ácido
	0.7 - 1.5	Medio		5.2 - 5.9	Acido
	1.6 +	Alto		6.0 – 6.9	Poco acido
<b>Al</b>	0 - 0.05	Bajo		7.0	Neutro
	0.06 - 1.0	Medio		7.1 +	Alcalino
	1.0 - 3.0	Alto	<b>M.O</b>	0 – 2.0	Bajo
<b>Cu</b>	0 - .2.0	Bajo		2.1 – 6.0	Medio
	2.1 - 6.0	Medio		6.1 +	Alto
	6.1 +	Alto			

Fuente: cuadro obtenido del mapa de fertilidad de suelos de Panamá (IDIAP).

CUADRO XXIII. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA

muestra	parcela	temp. 1	temp. 2	LH1	LH2	LC1	LC2
1	exp.	23	20	32	17	33.08	17.18
2	exp.	22	20	33	18	33.78	18.18
3	testigo	22	20	26	11	26.78	11.18
4	exp.	21	20	28	13	28.48	13.18
5	testigo	21	20	25	12	25.48	12.18
6	exp.	21	20	27	12	27.48	12.18
7	exp.	22	21	28	13	28.78	13.48
8	testigo	22	21	24	10	24.78	10.48
9	exp. 1	31	24	24	11	27.48	12.38
10	exp. 2	31	24	22	11	25.48	12.38
11	testigo	19	19	26	11	25.88	10.88
12	exp. 1	19	19	31	15	30.88	14.88
13	exp. 2	19	19	28	13	27.88	12.88
14	testigo	19	19	25	11	24.88	10.88
15	exp. 1	19	19	28	13	27.88	12.88
16	exp. 2	19	19	28	12	27.88	11.88
17	testigo	20	19	28	12	28.18	11.88
18	exp. 1	19	19	28	12	27.88	11.88
19	exp. 2	19	19	29	12	28.88	11.88
20	testigo	19	19	26	10	25.88	9.88
21	exp. 1	19	19	29	13	28.88	12.88
22	exp. 2	20	19	29	13	29.18	12.88
	blanco	21	20	6	6	6.48	6.18

Fuente: datos obtenidos por el autor

muestra	parcela	LC1 por blanco	LC2 por blanco	humedad	peso final
1	exp.	26.6	11	5.208333	37.91667
2	exp.	27.3	12	5.208333	37.91667
3	testigo	20.3	5	5.263158	37.89474
4	exp.	22	7	6.382979	37.44681
5	testigo	19	6	7.526882	36.98925
6	exp.	21	6	6.315789	37.47368
7	exp.	22.3	7.3	7.446809	37.02128
8	testigo	18.3	4.3	9.782609	36.08696
9	exp. 1	21	6.2	7.446809	37.02128
10	exp. 2	19	6.2	6.382979	37.44681
11	testigo	19.4	4.7	8.695652	36.52174
12	exp. 1	24.4	8.7	6.382979	37.44681
13	exp. 2	21.4	6.7	5.26315789	37.8947368
14	testigo	18.4	4.7	9.89010989	36.043956
15	exp. 1	21.4	6.7	6.38297872	37.4468085
16	exp. 2	21.4	5.7	7.52688172	36.9892473
17	testigo	21.7	5.7	9.89010989	36.043956
18	exp. 1	21.4	5.7	6.38297872	37.4468085
19	exp. 2	22.4	5.7	6.38297872	37.4468085
20	testigo	19.4	3.7	7.52688172	36.9892473
21	exp. 1	22.4	6.7	5.26315789	37.8947368
22	exp. 2	22.7	6.7	5.26315789	37.8947368

Fuente: datos obtenidos por el autor

muestra	parcela	% arena	% limo	% arcilla	textura
1	exp.	29.84615	41.14286	29.01099	Franco arcilloso
2	exp.	28	40.35165	31.64835	Franco arcilloso
3	testigo	46.43056	40.375	13.19444	Franco
4	exp.	41.25	40.05682	18.69318	Franco
5	testigo	48.63372	35.14535	16.22093	Franco
6	exp.	43.96067	40.02809	16.01124	Franco
7	exp.	39.76437	40.51724	19.71839	Franco
8	testigo	49.28916	38.79518	11.91566	Franco
9	exp. 1	43.27586	39.97701	16.74713	Franco
10	exp. 2	49.26136	34.18182	16.55682	Franco
11	testigo	46.88095	40.25	12.86905	Franco
12	exp. 1	34.84091	41.92614	23.23295	Franco
13	exp. 2	43.5277778	38.7916667	17.6805556	Franco
14	testigo	48.9512195	38.0091463	13.0396341	Franco
15	exp. 1	42.8522727	39.2556818	17.8920455	Franco
16	exp. 2	42.1453488	42.4447674	15.4098837	Franco
17	testigo	39.7957317	44.3902439	15.8140244	Franco
18	exp. 1	42.8522727	41.9261364	15.2215909	Franco
19	exp. 2	40.1818182	44.5965909	15.2215909	Franco
20	testigo	47.5523256	42.4447674	10.002907	Franco
21	exp. 1	40.8888889	41.4305556	17.6805556	Franco
22	exp. 2	40.0972222	42.2222222	17.6805556	Franco

Fuente: datos obtenidos por el autor

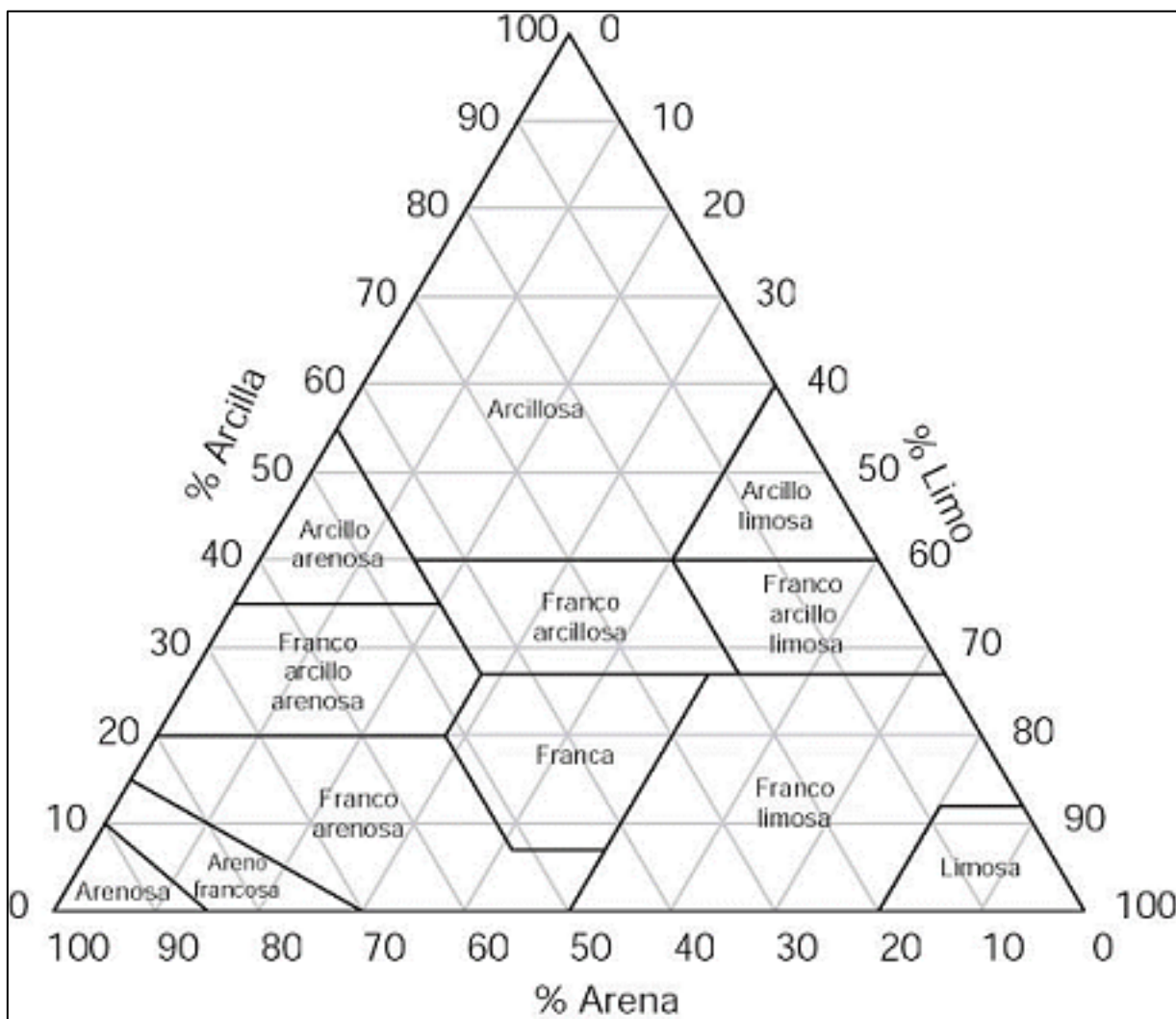


FIGURA 75. TRIÁNGULO TEXTURAL SISTEMA AMERICANO  
Fuente: figura obtenida de agromática.es

CUADRO XXIV. RANGOS DE PH

Fecha	# de muestra	parcela	valor de pH	interpretación
04/04/17	1	exp.	5.27	Ácido
04/11/17	2	exp.	4.76	Muy ácido
05/08/17	3	testigo	4.71	Muy ácido
05/08/17	4	exp.	5.18	muy ácido
06/08/17	5	testigo	4.51	muy ácido
06/08/17	6	exp.	4.6	muy ácido
07/07/17	7	exp.	4.68	muy ácido
08/08/17	8	testigo	4.53	muy ácido
08/08/17	9	exp. 1	4.61	muy ácido
08/08/17	10	exp. 2	4.54	muy ácido
09/08/17	11	testigo	4.6	muy ácido
09/08/17	12	exp. 1	4.79	muy ácido
09/08/17	13	exp. 2	4.77	muy ácido
10/10/17	14	testigo	4.59	muy ácido
10/10/17	15	exp. 1	4.84	muy ácido
10/10/17	16	exp. 2	4.5	muy ácido
11/13/17	17	testigo	4.48	muy ácido
11/13/17	18	exp. 1	4.62	muy ácido
11/13/17	19	exp. 2	4.58	muy ácido
12/06/17	20	testigo	4.37	muy ácido
12/06/17	21	exp. 1	4.49	muy ácido
12/06/17	22	exp. 2	4.38	muy ácido

Fuente: datos obtenidos por el autor

## CUADRO XXV. ACIDEZ TITULABLE

Fecha	# de muestra	parcela	ml. NaOH	Meq H + Al / 100 g	MI de HCl	Meq Al / 100 g	Meq H
04/04/17	1	exp.	0.3	0.2	0	0	0.2
04/11/17	2	exp.	0.5	0.4	0	0	0.4
05/08/17	3	testigo	1	0.9	0.5	0.5	0.4
05/08/17	4	exp.	0.2	0.1	0	0	0.1
06/08/17	5	testigo	2.1	2	1	1	1
06/08/17	6	exp.	1	0.9	0.4	0.4	0.5
07/07/17	7	exp.	1.1	1	0.5	0.5	0.5
08/08/17	8	testigo	2.4	2.3	1.5	1.5	0.8
08/08/17	9	exp. 1	1.2	1.1	0.5	0.5	0.6
08/08/17	10	exp. 2	1.4	1.3	0.8	0.8	0.5
09/08/17	11	testigo	2.2	2.1	1.2	1.2	0.9
09/08/17	12	exp. 1	1.1	1	0.5	0.5	0.5
09/08/17	13	exp. 2	1.6	1.5	0.9	0.9	0.6
10/10/17	14	testigo	1.9	1.8	1.2	1.2	0.6
10/10/17	15	exp. 1	1.5	1.4	0.8	0.8	0.6
10/10/17	16	exp. 2	1.7	1.6	0.8	0.8	0.8
11/13/17	17	testigo	2.5	2.4	1.5	1.5	0.9
11/13/17	18	exp. 1	1.5	1.4	0.7	0.7	0.7
11/13/17	19	exp. 2	1.5	1.4	1.3	1.3	0.1
12/06/17	20	testigo	2.5	2.4	1.5	1.5	0.9
12/06/17	21	exp. 1	1.8	1.7	1	1	0.7
12/06/17	22	exp. 2	2.2	2.1	1.2	1.2	0.9

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXVI. CICE Y % DE SATURACIÓN DE BASES

Fecha	# de muestra	parcela	Meq/100g	Meq/100g	Meq/100g	ppm	Meq/100g
04/04/17	1	exp.	20.05	11.12	0	162	0.41538462
04/11/17	2	exp.	17.18	8.87	0	148	0.37948718
05/08/17	3	testigo	8.79	5.65	0.5	166	0.42564103
05/08/17	4	exp.	20.76	8.97	0	160	0.41025641
06/08/17	5	testigo	10.92	5.45	1	75	0.19230769
06/08/17	6	exp.	11.29	6.38	0.4	129	0.33076923
07/07/17	7	exp.	11.49	6.09	0.5	149	0.38205128
08/08/17	8	testigo	6.67	4.18	1.5	46	0.11794872
08/08/17	9	exp. 1	10.14	5.94	0.5	133	0.34102564
08/08/17	10	exp. 2	9.7	5.4	0.8	122	0.31282051
09/08/17	11	testigo	5.3	3.43	1.2	55	0.14102564
09/08/17	12	exp. 1	11.3	6.35	0.5	88	0.22564103
09/08/17	13	exp. 2	9.19	5.29	0.9	98	0.25128205
10/10/17	14	testigo	6.72	3.61	1.2	57	0.14615385
10/10/17	15	exp. 1	9.53	5.74	0.8	104	0.26666667
10/10/17	16	exp. 2	8.72	5.13	0.8	98	0.25128205
11/13/17	17	testigo	5.31	3.14	1.5	55	0.14102564
11/13/17	18	exp. 1	10.92	6.37	0.7	93	0.23846154
11/13/17	19	exp. 2	8.62	4.85	1.3	110	0.28205128
12/06/17	20	testigo	5.97	3.33	1.5	63	0.16153846
12/06/17	21	exp. 1	8.77	5.79	1	81	0.20769231
12/06/17	22	exp. 2	6.15	3.97	1.2	111	0.28461538

Fuente: datos obtenidos por el autor

# de muestra	parcela	H	Na	Na	CICE	% de saturación de bases
		Meq/100g	ppm	Meq/100g		
1	exp.	0.2	22	0.09573542	31.88112004	99.37266947
2	exp.	0.4	20	0.0870322	26.91651938	98.51392376
3	testigo	0.4	36	0.15665796	15.92229899	94.34754993
4	exp.	0.1	28	0.12184508	30.36210149	99.67064203
5	testigo	1	39	0.16971279	18.73202049	89.32309517
6	exp.	0.5	27	0.11749347	19.0182627	95.26770655
7	exp.	0.5	27	0.11749347	19.07954475	94.7587848
8	testigo	0.8	42	0.18276762	13.45071634	82.90053896
9	exp. 1	0.6	31	0.13489991	17.65592555	93.76979702
10	exp. 2	0.5	29	0.12619669	16.83901721	92.27983448
11	testigo	0.9	38	0.16536118	11.13638682	81.14289641
12	exp. 1	0.5	42	0.18276762	19.05840865	94.7529722
13	exp. 2	0.6	40	0.1740644	16.40534646	90.8566393
14	testigo	0.6	34	0.14795474	12.42410859	85.51203906
15	exp. 1	0.6	30	0.1305483	17.06721497	91.79713853
16	exp. 2	0.8	30	0.1305483	15.83183035	89.89377751
17	testigo	0.9	34	0.14795474	11.13898038	78.45404232
18	exp. 1	0.7	39	0.16971279	19.09817433	92.66945638
19	exp. 2	0.1	38	0.16536118	15.31741247	90.86007507
20	testigo	0.9	38	0.16536118	12.02689965	80.04473247
21	exp. 1	0.7	31	0.13489991	16.60259222	89.7606351
22	exp. 2	0.9	30	0.1305483	12.63516369	83.3797167

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXVII. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

Fecha	# de muestra	parcela	Fósforo		
			Absorbancia	ppm	fósforo en ppm asimilable en el suelo
04/04/17	1	exp.	0.042	0.56020495	5.60204953
04/11/17	2	exp.	0.066	0.76515798	7.65157985
05/08/17	3	testigo	0.114	1.17506405	11.7506405
05/08/17	4	exp.	0.113	1.16652434	11.6652434
06/08/17	5	testigo	0.061	0.72245944	7.22459436
06/08/17	6	exp.	0.059	0.70538002	7.05380017
07/07/17	7	exp.	0.07	0.79931682	7.99316823
08/08/17	8	testigo	0.054	0.66268147	6.62681469
08/08/17	9	exp. 1	0.085	0.92741247	9.27412468
08/08/17	10	exp. 2	0.11	1.14090521	11.4090521
09/08/17	11	testigo	0.033	0.48334757	4.83347566
09/08/17	12	exp. 1	0.053	0.65414176	6.54141759
09/08/17	13	exp. 2	0.075	0.84201537	8.42015371
10/10/17	14	testigo	0.039	0.53458582	5.34585824
10/10/17	15	exp. 1	0.047	0.6029035	6.02903501
10/10/17	16	exp. 2	0.061	0.72245944	7.22459436
11/13/17	17	testigo	0.038	0.52604611	5.26046114
11/13/17	18	exp. 1	0.06	0.71391973	7.13919727
11/13/17	19	exp. 2	0.081	0.89325363	8.93253629
12/06/17	20	testigo	0.033	0.48334757	4.83347566
12/06/17	21	exp. 1	0.068	0.7822374	7.82237404
12/06/17	22	exp. 2	0.079	0.87617421	8.7617421
		patrón	0	0	
			0.084	1	
			0.183	2	
			0.317	3	
			0.469	4	

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXVIII. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Fecha	# de muestra	parcela	Vi FeSO4	Vf FeSO4	% M.O.	interpretación
04/04/17	1	exp.	0	6.3	5.28	medio
04/11/17	2	exp.	6.3	13.3	4.38	medio
05/08/17	3	testigo	13.3	17.2	8.38	alto
05/08/17	4	exp.	17.2	22.9	6.06	medio
06/08/17	5	testigo	22.9	27	8.12	alto
06/08/17	6	exp.	27	32.8	5.93	medio
07/07/17	7	exp.	32.8	38	6.7	alto
08/08/17	8	testigo	38	42.9	7.09	alto
08/08/17	9	exp. 1	42.9	47.6	7.34	alto
08/08/17	10	exp. 2	0	5.5	6.31	alto
09/08/17	11	testigo	5	8.6	9.41	alto
09/08/17	12	exp. 1	8.6	14.1	6.31	alto
09/08/17	13	exp. 2	14.1	19.9	5.93	medio
10/10/17	14	testigo	19.9	21.5	11.34	alto
10/10/17	15	exp. 1	21.5	26.6	6.83	alto
10/10/17	16	exp. 2	26.6	32.1	6.31	alto
11/13/17	17	testigo	32.1	34.3	10.56	alto
11/13/17	18	exp. 1	34.3	39.4	6.83	alto
11/13/17	19	exp. 2	39.4	45.2	5.93	medio
12/06/17	20	testigo	10.4	13.1	9.92	alto
12/06/17	21	exp. 1	13.1	18.5	6.44	alto
12/06/17	22	exp. 2	18.5	24.1	6.18	alto
Blanco	10.4					

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXIX. DETERMINACIÓN DE POTASIO Y MICRO ELEMENTOS

			Ca	Mg	K
Fecha	# de muestra	parcela	Meq/100g	Meq/100g	ppm
04/04/17	1	exp.	20.05	11.12	162
04/11/17	2	exp.	17.18	8.87	148
05/08/17	3	testigo	8.79	5.65	166
05/08/17	4	exp.	20.76	8.97	160
06/08/17	5	testigo	10.92	5.45	75
06/08/17	6	exp.	11.29	6.38	129
07/07/17	7	exp.	11.49	6.09	149
08/08/17	8	testigo	6.67	4.18	46
08/08/17	9	exp. 1	10.14	5.94	133
08/08/17	10	exp. 2	9.7	5.4	122
09/08/17	11	testigo	5.3	3.43	55
09/08/17	12	exp. 1	11.3	6.35	88
09/08/17	13	exp. 2	9.19	5.29	98
10/10/17	14	testigo	6.72	3.61	57
10/10/17	15	exp. 1	9.53	5.74	104
10/10/17	16	exp. 2	8.72	5.13	98
11/13/17	17	testigo	5.31	3.14	55
11/13/17	18	exp. 1	10.92	6.37	93
11/13/17	19	exp. 2	8.62	4.85	110
12/06/17	20	testigo	5.97	3.33	63
12/06/17	21	exp. 1	8.77	5.79	81
12/06/17	22	exp. 2	6.15	3.97	111

Fuente: datos obtenidos por el autor

Fecha	# de muestra	parcela	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
04/04/17	1	exp.	22	41	91	6	8
04/11/17	2	exp.	20	57	95	6	2
05/08/17	3	testigo	36	29	42	4	4
05/08/17	4	exp.	28	30	53	4	3
06/08/17	5	testigo	39	66	25	6	3
06/08/17	6	exp.	27	32	47	4	3
07/07/17	7	exp.	27	33	27	4	5
08/08/17	8	testigo	42	47	14	5	2
08/08/17	9	exp. 1	31	33	29	4	7
08/08/17	10	exp. 2	29	34	23	4	4
09/08/17	11	testigo	38	38	8	4	4
09/08/17	12	exp. 1	42	29	26	4	5
09/08/17	13	exp. 2	40	38	23	4	6
10/10/17	14	testigo	34	38	7	4	10
10/10/17	15	exp. 1	30	32	20	4	6
10/10/17	16	exp. 2	30	33	18	4	6
11/13/17	17	testigo	34	45	6	5	3
11/13/17	18	exp. 1	39	33	26	4	6
11/13/17	19	exp. 2	38	33	17	4	7
12/06/17	20	testigo	38	35	9	4	8
12/06/17	21	exp. 1	31	40	25	4	6
12/06/17	22	exp. 2	30	34	17	4	8

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXX. ESTIMACIÓN DE NITRÓGENO

Fecha	# de muestra	parcela	%	N orgánico total kg/ha	N mineralizable total por año kg/ha
04/04/17	1	exp.	0.264	5280	158.4
04/11/17	2	exp.	0.219	4380	131.4
05/08/17	3	testigo	0.419	8380	251.4
05/08/17	4	exp.	0.303	6060	181.8
06/08/17	5	testigo	0.406	8120	243.6
06/08/17	6	exp.	0.2965	5930	177.9
07/07/17	7	exp.	0.335	6700	201
08/08/17	8	testigo	0.3545	7090	212.7
08/08/17	9	exp. 1	0.367	7340	220.2
08/08/17	10	exp. 2	0.3155	6310	189.3
09/08/17	11	testigo	0.4705	9410	282.3
09/08/17	12	exp. 1	0.3155	6310	189.3
09/08/17	13	exp. 2	0.2965	5930	177.9
10/10/17	14	testigo	0.567	11340	340.2
10/10/17	15	exp. 1	0.3415	6830	204.9
10/10/17	16	exp. 2	0.3155	6310	189.3
11/13/17	17	testigo	0.528	10560	316.8
11/13/17	18	exp. 1	0.3415	6830	204.9
11/13/17	19	exp. 2	0.2965	5930	177.9
12/06/17	20	testigo	0.496	9920	297.6
12/06/17	21	exp. 1	0.322	6440	193.2
12/06/17	22	exp. 2	0.309	6180	185.4

Fuente: datos obtenidos por el autor

Fecha	# de muestra	parcela	N mineralizable disponible por año Kg/ha	N mineralizable disponible por mes Kg/ha
04/04/17	1	exp.	79.2	9.9
04/11/17	2	exp.	65.7	8.2125
05/08/17	3	testigo	125.7	15.7125
05/08/17	4	exp.	90.9	11.3625
06/08/17	5	testigo	121.8	15.225
06/08/17	6	exp.	88.95	11.11875
07/07/17	7	exp.	100.5	12.5625
08/08/17	8	testigo	106.35	13.29375
08/08/17	9	exp. 1	110.1	13.7625
08/08/17	10	exp. 2	94.65	11.83125
09/08/17	11	testigo	141.15	17.64375
09/08/17	12	exp. 1	94.65	11.83125
09/08/17	13	exp. 2	88.95	11.11875
10/10/17	14	testigo	170.1	21.2625
10/10/17	15	exp. 1	102.45	12.80625
10/10/17	16	exp. 2	94.65	11.83125
11/13/17	17	testigo	158.4	19.8
11/13/17	18	exp. 1	102.45	12.80625
11/13/17	19	exp. 2	88.95	11.11875
12/06/17	20	testigo	148.8	18.6
12/06/17	21	exp. 1	96.6	12.075
12/06/17	22	exp. 2	92.7	11.5875

Fuente: datos obtenidos por el autor

CUADRO XXXI. LLUVIAS REGISTRADAS EN LA FCA 2017

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1	0	0	0	0	3	0
2	0	0	0	16	27	0
3	0	0	0	0	0	7
4	0	0	0	0	8.8	4
5	0	0	0	0	0	2
6	0	0	0	0	103.5	3
7	0	0	0	0	4.5	26.5
8	0	0	0	0	16	22.5
9	0	0	0	0	17	7.5
10	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	63	0.5
12	0	0	0	0	7	15.5
13	0	0	0	0	0	9.5
14	0	0	0	0	0	3
15	0	0	4	0	0	57.5
16	28	0	0	0	0	2.5
17	0	0	0	16	0	1
18	0	0	0	1.5	13.5	4.5
19	0	0	0	53	1.5	0
20	0	0	0	0	12.5	25.5
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0.05	0	0	0	0
23	0	17	0	0	1	0
24	0	0	0	0	3	27.5
25	0	0	0	1.5	0.6	5
26	0	0	4	4.5	0	2.5
27	0	0	0.2	0	11	11.5
28	0	0	0	30.5	0.5	26.5
29	0		0	1	17	0
30	0		3	0	4	2
31	0		1		3.5	
Total	28.00	17.05	12.20	124.00	318.90	267.00
Prom	1.75	0.61	0.39	4.13	10.63	9.21
Max	28.00	17.00	4.00	53.00	103.50	57.50
Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: datos obtenidos en la estación meteorológica de la FCA.

Día	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0.5	0	15.5	0	0	0
2	12	0	0	84	0	0
3	7	0	18	5	27.5	0.5
4	3	14	9	102.5	0	0
5	0	0	0	7.5	48	0
6	12	7.5	22	2	0.5	1
7	34	2	50	0	15.5	0
8	0	31	14	0	9.5	27
9	32	2.5	0	33	24.5	0
10	21	7	14	0	7	25
11	3	0	5	0	4	4
12	5.5	60	6.5	0	1	1
13	7	0	28	0	0	
14	1	2	7.5	0	142	
15	27.5	4	6	0	24	
16	4.5	0	8.5	0	0	
17	4	0	3.5	0	0.5	
18	0	0	1	76	0	
19	10.2	0	0	0	11.5	
20	0.5	39	48	0	0	
21	5	0	0.5	27	0	
22	18.5	0	0	12	8	
23	35	37	6	0	76	
24	0	0.5	0	79	40	
25	25	3	84	0	9	
26	43	0	3	6	11	
27	0	1.5	4	1.5	1.5	
28	22.5	42	4	0	17.5	
29	0	12	0	2	0	
30	0	6	5	6	8	
31	0	0		1.5		25.5
Total	333.70	271.00	363.00	445.00	486.50	84.00
Prom	11.51	10.04	12.96	15.34	23.17	12.00
Max	43.00	60.00	84.00	102.50	142.00	27.00
Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50

Fuente: datos obtenidos en la estación meteorológica de la FCA