

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUIMICA

DEPARTAMENTO DE GEOQUIMICA



**Dinámica de macronutrientes (C, N, Mg, P, K, y Ca) y micronutrientes (Na) en suelos por efecto de la quema en la Gran Sabana, Parque Nacional Canaima, Venezuela.**

**Trabajo Especial de Grado  
presentado ante la ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela por la Br. Gabriela  
Irene Lares Godoy para optar  
al Título de Licenciado en  
Geoquímica**

Caracas, 2015.

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Departamento de Geoquímica



**Dinámica de macronutrientes (C, N, Mg, P, K, y Ca) y micronutrientes (Na) en suelos por efecto de la quema en la Gran Sabana, Parque Nacional Canaima, Venezuela.**

**Nombre del tutor (es):**

- Prof. Bilbao Bibiana (USB)
- Prof. Meléndez Williams (UCV)

**Nombre del autor (a):**

- Br. Lares Gabriela

Caracas, 2015

## *Dedicatoria*

*Primeramente a Dios y a la Virgen del Valle por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, también por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio y a lo largo de mi vida.*

*A mi madre María Eugenia Godoy por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor y por los ejemplos de perseverancia y constancia que la caracterizan y que me ha infundado siempre y por el valor mostrado para salir adelante y por ser no solo la mejor madre del mundo sino el mejor padre que pudo haberme tocado en esta vida.*

*A mi hermano Álvaro Sanabria por ser el ejemplo de un hermano mayor y del cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; mi tía Gisela, mis tíos Antonio, Iván y Jony, abuela y familia en general que participaron directa o indirectamente en mi educación, con sus consejos y por creer en mí y en mis capacidades.*

*A mis tutores y profesores Sibiana Bilbao y Williams Meléndez, por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; a Adriana Millán y Roschman González por su apoyo ofrecido en este trabajo, y a los profesores del Instituto de Ciencias de la Tierra de la UCV por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, al apoyarnos en su momento y que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario.*

*Este logro es también para ustedes.*

*"La ciencia se compone de errores, que a su vez son los pasos hacia la verdad".*

*Julio Verne*

## *Agradecimientos*

*Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

*Le doy gracias a mi madre, hermano, tíos, abuela y familia por apoyarme en todo momento y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.*

*Les agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores del Instituto de Ciencias de la Tierra en la UCV por haber compartido conmigo sus conocimientos y amistad.*

*Le agradezco a mis tutores, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis, por el apoyo y facilidades y por todo lo que me han enseñado.*

*Y por último, le agradezco a la Universidad Central de Venezuela, por ser mi segunda casa, donde conocí a los mejores profesores, y amigos, donde adquirí los mayores conocimientos que me servirán para toda la vida, gracias por ser la casa que vence las sombras de la ignorancia y mediocridad y ayudarme avanzar hacia el progreso profesional.*

*"El experimentador que no sabe lo que está buscando no comprenderá lo que encuentra."*

*Claude Bernard.*

## INDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>1- INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
<b>2- OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
2.1- Objetivo General.....	5
2.2- Objetivos Específicos.....	5
<b>3- MARCO TEORICO.....</b>	<b>7</b>
3.1- Conceptos Básicos.....	7
3.1.1- Suelos.....	7
3.1.2- Perfil de suelo.....	8
3.1.3- El fuego.....	10
3.1.4- Manejo Integral del Fuego.....	12
3.1.5- Quema.....	12
3.1.6- Macronutrientes y micronutrientes.....	13
3.1.7- Sabanas.....	14
3.1.8- Efecto del fuego en los suelos de sabanas.....	15
3.1.9- Liberación de nutrientes por efecto del fuego.....	16
3.1.10- Frecuencia del fuego.....	17
3.2- Generalidades de la zona de estudio.....	18
3.2.1- Geología y geomorfología.....	18
3.2.2- Habitantes, asentamiento y acceso.....	22
3.2.3- Clima.....	24
3.2.4- Hidrología y drenaje.....	25
3.2.5- Suelos.....	25
3.3- Antecedentes.....	27
<b>4- MARCO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>33</b>
4.1-Etapa de Campo.....	33
4.2- Etapa de Laboratorio.....	36
4.2.1- Determinación de COT.....	36
4.2.2- Determinación de la concentración de N total.....	37
4.2.3- Determinación de la concentración de P disponible.....	38
4.2.4- Determinación de Na, Mg, K, Ca.....	38
4.3- Tratamiento estadístico.....	39
<b>5- RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
5.1-Análisis químicos.....	40
5.1.1- Carbono Orgánico Total (COT).....	40
5.1.2- Nitrógeno Total.....	42
5.1.3- Relación C/N.....	45
5.1.4- Fósforo disponible.....	46
5.1.5-Cationes.....	48
5.1.5.1- Sodio.....	48

5.1.5.2-Magnesio.....	51
5.1.5.3-Potasio.....	53
5.1.5.4-Calcio.....	55
5.1.5.5- $\Sigma$ cationes.....	57
5.2- Análisis de Componentes Principales (ACP).....	58
<b>6- DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>62</b>
6.1- Carbono Orgánico Total (COT).....	62
6.2- Nitrógeno Total.....	64
6.3- Relación C/N.....	67
6.4- Fósforo disponible.....	68
6.5-Cationes.....	69
<b>7- CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>8- RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>9- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>77</b>
<b>10- APENDICES.....</b>	<b>83</b>
10.1-Tabla de resultados químicos.....	83
10.2-Analisis ANOVA y Posteriori.....	84
10.3-Analisis de Componentes Principales.....	88

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> .....	<b>34</b>
Tratamientos de las quemas realizadas en la zona de estudio.	
<b>TABLA 2</b> .....	<b>83</b>
Concentración de los elementos COT, Nt, C/N, P, Na, Mg, K, Ca y $\Sigma$ cationes en los tratamientos	
<b>TABLA 3</b> .....	<b>84</b>
Anova COT	
<b>TABLA 4</b> .....	<b>84</b>
Anova N total	
<b>TABLA 5</b> .....	<b>84</b>
Anova P disponible	
<b>TABLA 6</b> .....	<b>85</b>
Anova Na	
<b>TABLA 7</b> .....	<b>85</b>
Posteriori Na	
<b>TABLA 8</b> .....	<b>85</b>
Anova Mg	
<b>TABLA 9</b> .....	<b>86</b>
Anova K	
<b>TABLA 10</b> .....	<b>86</b>
Posteriori K	
<b>TABLA 11</b> .....	<b>87</b>
Anova Ca	
<b>TABLA 12</b> .....	<b>88</b>
Resumen de los resultados del análisis multivariado ACP.	

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> .....	<b>8</b>
Perfil de suelo	
<b>FIGURA 2</b> .....	<b>15</b>
Distribución global de sabanas y bosques tropicales	
<b>FIGURA 3</b> .....	<b>19</b>
Provincias geológicas del Escudo de Guayana en Venezuela	
<b>FIGURA 4</b> .....	<b>21</b>
Localización del Parque Nacional Canaima	
<b>FIGURA 5</b> .....	<b>21</b>
Vista esquemática de la Gran Sabana	
<b>FIGURA 6</b> .....	<b>35</b>
Mosaico de sabana- bosque en Guayana, Venezuela	
<b>FIGURA 7</b> .....	<b>35</b>
Distribución de las parcelas experimentales	
<b>FIGURA 8</b> .....	<b>36</b>
Vista aérea de las parcelas experimentales	

## INDICE DE GRAFICOS

<b>GRAFICO 1</b> .....	<b>41</b>
ANOVA de COT	
<b>GRAFICO 2</b> .....	<b>42</b>
Concentración de COT en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 3</b> .....	<b>42</b>
Concentración de COT en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 4</b> .....	<b>44</b>
ANOVA de N total	
<b>GRAFICO 5</b> .....	<b>44</b>
Concentración de N total en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 6</b> .....	<b>45</b>
Concentración de N total en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 7</b> .....	<b>46</b>
Relación C/N en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 8</b> .....	<b>46</b>
Relación C/N en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 9</b> .....	<b>47</b>
ANOVA de P.	
<b>GRAFICO 10</b> .....	<b>48</b>
Concentración de P en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 11</b> .....	<b>48</b>
Concentración de P en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 12</b> .....	<b>50</b>
ANOVA de Na	
<b>GRAFICO 13</b> .....	<b>50</b>
Concentración de Na en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 14</b> .....	<b>51</b>
Concentración de Na en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 15</b> .....	<b>52</b>
ANOVA de Mg	

<b>GRAFICO 16</b> .....	<b>52</b>
Concentración de Mg en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 17</b> .....	<b>53</b>
Concentración de Mg en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 18</b> .....	<b>54</b>
ANOVA de K	
<b>GRAFICO 19</b> .....	<b>54</b>
Concentración de K en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 20</b> .....	<b>55</b>
Concentración de K en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 21</b> .....	<b>56</b>
ANOVA de Ca	
<b>GRAFICO 22</b> .....	<b>56</b>
Concentración de Ca en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 23</b> .....	<b>57</b>
Concentración de Ca en el tratamiento QIN	
<b>GRAFICO 24</b> .....	<b>58</b>
$\Sigma$ cationes en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 25</b> .....	<b>58</b>
$\Sigma$ cationes en el tratamiento QTP	
<b>GRAFICO 26</b> .....	<b>60</b>
Análisis de Componentes Principales y la distribución de elementos	
<b>GRAFICO 27</b> .....	<b>61</b>
Análisis de Componentes Principales (ACP) y distribución de grupos.	

## RESUMEN

El fuego ha sido considerado como un factor de severos impactos en los ecosistemas tropicales especialmente en los procesos de sabanización y degradación de los suelos. Esta ha sido la concepción de los administradores del Parque Nacional Canaima (PNC), en el cual grandes esfuerzos se han invertido para combatir el fuego. Sin embargo, recientes estudios han demostrado que el uso del fuego en las actividades de subsistencia por parte de los indígenas que habitan la región, podría, por el contrario, tener efectos positivos tales como la fertilización de los suelos a través de las quemas controladas en áreas de bosques. En vista de esta controversia, se plantea la necesidad de evaluar cual es el rol del fuego en los procesos de degradación de los ecosistemas, específicamente en los suelos. El presente trabajo tiene como objetivo general analizar la dinámica de los macronutrientes y micronutrientes a corto plazo, por efecto directo de las quemas en suelos de la Gran Sabana (ubicada en el sector Oriental del Parque), en un gradiente sabana-bosque característico de la región. Para tal fin se determinarán: a) la concentración del C orgánico total (COT), N total, y P disponible y b) la concentración de Na, Mg, K y Ca, en los suelos en condiciones previas y posteriores a la quema. Para cumplir con estos objetivos se analizarán los macro y micronutrientes en 65 muestras de suelos colectadas en el año 2000 en parcelas de un experimento de fuego a largo plazo de acuerdo a los tratamientos de QTP (quemas realizadas durante los meses de enero y febrero, a mitad de la sequía), QIN (meses de marzo y abril, al final de la sequía- principios de la época de lluvias), y CTROL (control sin quema). Para los análisis químicos de los suelos se siguieron los métodos estándares de Walkley Black (1947), Jackson (1976), y Murphy y Riley (1962), para el COT, N Total y P disponible respectivamente, mientras que la concentración de cationes se determinó por absorción atómica en extractos de acetato de amonio de los suelos. Los resultados indican que si bien la quema solo tuvo un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) sobre las concentraciones del Na y el K en los tratamientos QTP y QIN, el análisis multivariado muestra una sucesión temporal después de la quema, en la concentración de nutrientes desde los tiempos T0, T1 y T3 (0, 1 y 3 días respectivamente, con valores similares al tratamiento CTROL), y con un máximo a los siete días (T7) y un posterior descenso a los 8 días (T8). Este efecto es más notorio en el tratamiento QIN, el cual presenta mayores concentraciones de K, Ca, COT y Mg que el QTP. Estos resultados indican que el fuego no

tiene un efecto de degradación de los suelos, por el contrario el mismo es positivo. Sin embargo este efecto es de muy corta duración, por lo que considerando la alta pobreza de los suelos de la sabana y su alta acidez, no resulta posible realizar prácticas agrícolas aún con el uso del fuego.

## 1- INTRODUCCION

Los suelos son sistemas ecológicos dinámicos que proporcionan soporte, agua, nutrientes y aire a las plantas, además de mantener una gran población de microorganismos los cuales reciclan los materiales de la vida (Singer y Munns, 1999). De igual forma, estos sistemas son importantes ya que permiten el crecimiento de la vegetación evitando el proceso de erosión de los mismos. Por otro lado, el hombre obtiene del suelo no sólo la mayor parte de los alimentos, sino también fibras, maderas y otras materias primas, así como también son de importancia vital para los animales, ya que muchos de éstos obtienen su alimento única y exclusivamente a través de este medio.

Para que todo lo anterior se lleve a cabo se necesitan suelos fértiles ricos en macronutrientes y micronutrientes; sin embargo, no todos cuentan con una fertilidad natural, por lo que se hace necesario recurrir a procedimientos de fertilización, entre los que se cuenta el uso de abonos orgánicos, así como el de agroquímicos industriales. La pérdida de la fertilidad o empobrecimiento de los suelos, casi siempre es producido por el abuso del cultivo o un excesivo pastoreo, además de la pérdida natural de nutrientes debido al proceso de meteorización. Los abonos, el control de cultivos y la rotación de éstos colocan a los suelos en condiciones apropiadas para seguir produciendo. Por esta razón, los abonos cumplen la función de aportar los nutrientes al suelo requeridos por las plantas y aumentar su productividad natural; de igual forma modifican las propiedades del mismo (estructura, pH) (Thompson y Troeh, 2002).

Entre los métodos de fertilización más usados se tienen los abonos orgánicos (estiércol, compost, basuras fermentadas, turba, humus de lombriz), los ácidos húmicos, y los fertilizantes minerales (que consisten en abonos químicos que proporcionan sustancias nitrogenadas, fosfóricos, potásicos, complejos), además de sustancias de liberación lenta (abonos granulados, barritas y pastillas), y fertilizantes líquidos, aminoácidos y extractos de algas (llamados recuperadores). Sin embargo, existe un método tradicional de fertilización que ha sido utilizado en las zonas donde habitan los indígenas, el cual, implementa el uso del fuego por medio de la quema para aportar nutrientes al suelo a través de las cenizas. Es importante recalcar que su manejo data desde hace miles de años por lo que es considerado el más antiguo y utilizado del planeta. (Moscovich, *et al.*, 2010).

El uso de fertilizantes químicos tiene algunos efectos que pueden llegar a ser favorables, pero también pueden tener algunas desventajas. Entre ellas, el sobreuso de abonos, puede producir la contaminación e intoxicación tanto del suelo como de las plantas, así como también puede verse afectada las aguas subterráneas de la zona, sin descartar las intoxicaciones humanas debido al consumo de verduras, legumbres o frutas que hayan estado en el suelo contaminado. Por su parte, el otro método de fertilización, el cual utiliza el fuego a través de la quema como medio de aporte de nutrientes, también tiene sus desventajas, ya que su uso puede ocasionar la pérdida de algunas de las propiedades del suelo.

En Venezuela existen algunas regiones que mantienen este tipo de prácticas de fertilización entre ellos el pueblo indígena Pemón, quienes utilizan el fuego para realizar quemas en el Parque Nacional Canaima en el Estado Bolívar, durante sus actividades diarias, tales como el cultivo en el conuco en zonas de bosques, la caza, la pesca y otros métodos de subsistencia (Bilbao et al. 2010). Sin embargo, los cambios socioculturales y demográficos recientes han contribuido al uso insostenible del fuego, por lo que de acuerdo a varios autores, esta situación conduce a la pérdida de los bosques y otros ecosistemas, y a un intenso proceso de degradación de los suelos que dificultan los procesos de restauración natural de la vegetación (Dezzeo 1994; Dezzeo *et al.*, 2004).

Así, la alta ocurrencia del fuego (entre 2000 y 3000 incendios anuales) es de gran preocupación para los administradores del Parque Nacional Canaima (CNP), quienes consideran que la presencia de sabanas en un clima muy húmedo (1500 – 4000 mm/año), donde una superficie continua de bosques es esperada, está asociado a un proceso de sabanización promovida por el fuego y la alta vulnerabilidad y pobreza de los suelos (Dezzeo *et al.*, 2004).

La problemática existente entre las comunidades indígenas Pemón, y varios científicos, y administradores del Parque, plantea la necesidad de evaluar cual es el rol del fuego en los procesos de degradación de los ecosistemas, específicamente en los suelos. En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad estudiar la dinámica de los macronutrientes y micronutrientes por efecto de las quemas en suelos del sector Oriental del Parque conocido

como la Gran Sabana, en sabanas de un gradiente sabana- bosque característico de la región. Este trabajo es parte de los proyectos: FONACIT G-98-001124 “Interacciones Atmósfera – Biosfera en la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela” (Proyecto IAI), bajo los cuales se establecieron 21 parcelas permanentes desde el año 1999, para estudiar el comportamiento del fuego y sus efectos a largo plazo en los suelos, composición de especies, y acumulación de biomasa.

Así mismo, el proyecto multidisciplinario G-2005000514 “Factores de riesgo en la reducción de hábitats en el Parque Nacional Canaima: vulnerabilidad y herramientas para el desarrollo sostenible” (Proyecto Riesgo) el cual se inició, en el año 2006, tenía como uno de sus objetivos, analizar la información obtenida en el experimento de quemas a largo plazo (proyecto IAB) e integrarla con el conocimiento Pemón sobre el uso del fuego, para sentar las bases de un manejo participativo del fuego, en el que se integren ambos tipos de conocimientos (Bilbao *et al.*, 2010). Se espera que este estudio pueda contribuir en la generación de esa línea base de conocimiento.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se plantean, los siguientes objetivos.

## **2- OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar el efecto directo de la quema en la disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes en los suelos de un experimento de fuego realizado en parcelas permanentes de sabanas en la Gran Sabana. Estado Bolívar, Venezuela.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la concentración de C orgánico total, N total, y P disponible en suelos en condiciones previas a la quema, y posterior al fuego.
- Determinar la concentración de Na, Mg, K y Ca en suelos en condiciones previas a la quema, y posterior al fuego.

- Establecer el papel de la quema en los procesos de fertilización o degradación de los suelos, a través del aumento o disminución de las concentraciones de macro y micronutrientes en los suelos por efecto del fuego.

### 3- MARCO TEORICO

A continuación son descritos en detalle los conceptos básicos, generalidades de la zona de estudio y finalmente los antecedentes que sustentan esta propuesta de investigación.

#### 3.1- Conceptos básicos.

##### 3.1.1- Suelos.

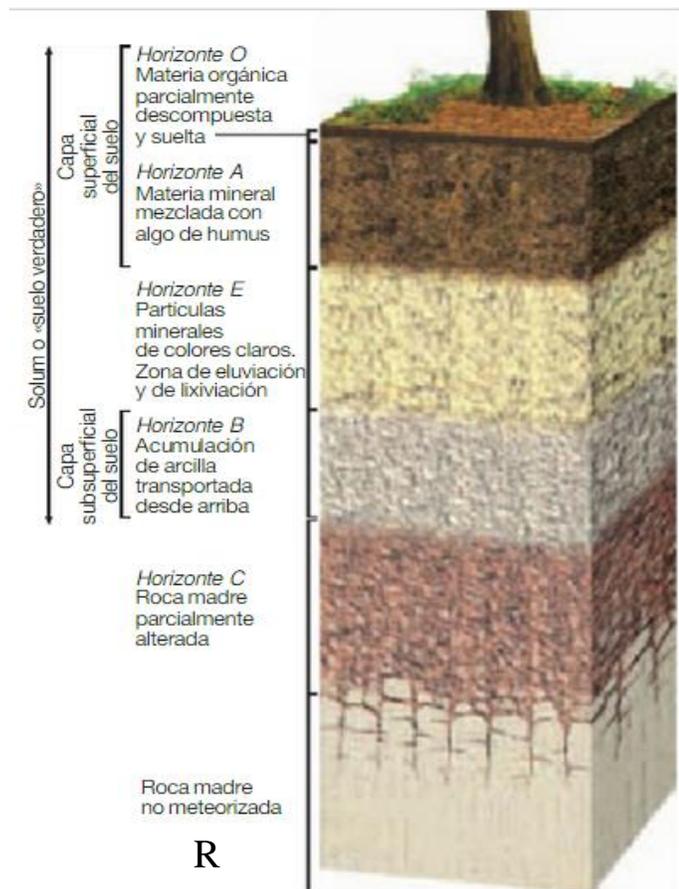
Algunos autores plantean, que el contacto del hombre con el suelo es tan universal que cada disciplina define su propio concepto y fines de acuerdo a su naturaleza: para un ingeniero, puede ser un material de construcción o de fundación donde realizará una edificación, para el agricultor es un medio de cultivo y producción, y para las sociedades en general, representa la fuente donde proviene el alimento, vestido y abrigo (Thompson y Troeh, 2002). Estos autores también indican que los químicos consideran al suelo como un almacén de nutrientes para las plantas, mientras que los primeros geólogos concluyeron que reflejaba el producto de la roca meteorizada, para el edafólogo, es una mezcla de materiales minerales y orgánicos, capaz de soportar la vida vegetal, y el pedólogo, indica que sería el producto natural formado a partir de la roca meteorizada por la acción del clima y de los organismos vivos. Desde el punto de vista geoquímico el suelo es considerado, una entidad natural de constituyentes minerales y orgánicos diferenciados *in situ* en horizontes de espesor variable que difieren del material suprayacente en morfología, composición química y mineralogía.

Arias (2007) define al suelo, como un material no consolidado que está en constante cambio, de origen variable, y que sirve de nexo entre lo inorgánico (minerales provenientes de la descomposición de la roca) y lo orgánico (material vegetal y animal) formando un ecosistema semi-renovable. Además, provee calor, aire, humedad, minerales y da soporte a la planta; transforma la energía solar y es considerado como un cuerpo tridimensional porque el límite superior es la superficie de la tierra, el límite inferior, es la profundidad efectiva de la meteorización (descomposición de la roca y de los minerales) o la profundidad de penetración de las raíces, y el límite lateral esta dado por la presencia de otro suelo con características diferentes.

Todo lo anterior, está representado en los perfiles de suelos donde se evidencia en cada horizonte una característica que predomina con respecto a las otras.

### 3.1.2- Perfil de suelo

En cuanto a un perfil de suelo, De La Rosa (2008), expresa que este se observa mediante un corte vertical del terreno, desde la superficie hasta el material geológico original, estando formado por un conjunto de horizontes o capas (O, A, E, B y C) que han sido generados durante el proceso de la formación del suelo (pedogénesis).



**Figura 1.** Perfil de suelo idealizado (Tomado de Tarbuck y Lutgens, 2005).

Por otro lado Casanova (2005) indica, que el horizonte superior generalmente posee un mayor contenido de materia orgánica y es de color más oscuro que las capas inferiores. Esta es el área del suelo donde se desarrolla una alta proporción de raíces de los cultivos y donde se genera la mayor actividad de los microorganismos. Este horizonte superior

normalmente es llamado O. La parte media del perfil comúnmente contiene más arcilla y generalmente es de colores más claros que el horizonte A, esta capa es llamada horizonte B, y el C consiste de roca no consolidada en proceso de desintegración (meteorización) y comparte alguna de sus propiedades con las de horizontes superiores. En la ciencia del suelo se hace referencia a la combinación de los horizontes A y B como “Solum” o suelo verdadero. Por otro lado el horizonte E es considerado la capa mineral donde el rasgo principal es la pérdida de arcilla, hierro, aluminio, o la combinación de estos, dejando una concentración de arena y partículas de limo, este horizonte es usualmente, pero no necesariamente, más claro en color que el horizonte subyacente B, este horizonte E es un horizonte eluvial que se encuentra comúnmente cerca de la superficie, por debajo del horizonte O o A y por encima del B. Finalmente, el horizonte C es llamado material parental parcialmente alterado, está presente por debajo del “solum” y se extiende en profundidad hasta la roca consolidada, la cual es denominada horizonte R (Figura 1).

En el presente trabajo, solo se considera el horizonte superficial ya que el fuego actúa solo en los primeros centímetros, disminuyendo su efecto rápidamente con la profundidad. Walker *et al* (1986, citado por Bilbao, 1995) indica que los procesos fisicoquímicos y biológicos que son afectados por el calor y la depositación de cenizas muestran una mayor respuesta en la superficie del suelo.

En cuanto a los factores que actúan en la formación del suelo puede indicarse, según Singer y Munns (1999), que el clima es un factor importante ya que, influye directamente en la humedad y la temperatura del suelo, e indirectamente a través de la vegetación. La temperatura y la precipitación modifican la velocidad de muchas reacciones químicas que se desarrollan en el suelo. De igual forma la disponibilidad de agua y su flujo influye sobre una gran cantidad de procesos edáficos, movilizándolo e incluso eliminando componentes del suelo.

Por otro lado, se encuentra el papel de la litología, el cual se constituye en un elemento pasivo sobre el que actúan el resto de los factores formadores de suelo. Un mismo tipo de roca, bajo diferentes condiciones del medio puede dar lugar a suelos con distintas características. De igual forma, el relieve influye en la formación de un suelo, ya que si es una montaña con una gran pendiente, los agentes de erosión como el viento, el agua, el

hielo producen un desprendimiento de bloques, lo que no permitirá un desarrollo óptimo de sus horizontes, mientras que en zonas planas hay más posibilidad de formar un suelo bien diferenciado. (Singer y Munns, 1999).

Además el papel de los organismos y la participación de una amplia variedad de formas biológicas (animales, bacterias, hongos, algas) resultan trascendentales en el funcionamiento de los ciclos del carbono, del nitrógeno, etc. La vegetación ejerce una serie de acciones tanto directas como indirectas en la formación y conservación del suelo. Entre las primeras destacan el aportar materia orgánica, acelerar la meteorización e incrementar la porosidad y el movimiento del agua y el aire. Entre las indirectas destaca el efecto pantalla que la cubierta vegetal impone sobre el clima edáfico, al generar sombra, también al interceptar las gotas de lluvia y frenar la escorrentía superficial (o sea aumentar la infiltración) y, por tanto, reducir la erosión hídrica, además de la eólica. Por último el tiempo, la formación de un suelo es un proceso muy lento que requiere miles y hasta millones de años. No todos los suelos se han desarrollado durante el mismo período de tiempo, por lo que da lugar a características morfológicas distintas. A medida que los suelos van evolucionando, sus características se desarrollan más rápidamente originando perfiles más profundos y también más diferenciados los unos de los otros. (Singer y Munns, 1999).

En ocasiones los factores formadores del suelo ocurren tan lentamente que no genera un suelo con características fértiles o pueden actuar tan eficientemente que genera la pérdida de los nutrientes convirtiéndose en suelos infértiles, para lo cual se hace necesario el uso de las diferentes técnicas de fertilización incluyendo al fuego a través de la quema.

### **3.1.3- El Fuego**

El fuego es un fenómeno físico-químico que desprende luz y calor cuando un cuerpo entra en combustión. Para que este proceso se inicie y pueda continuar, deben estar presentes tres elementos en una adecuada proporción: el material combustible, el oxígeno y el calor. El fuego se extinguirá, cuando uno o más de dichos componentes es eliminado. (Moscovich, *et al*, 2014).

Bilbao (1995) indica que es un factor que afecta significativamente muchas de las propiedades de un ecosistema. Su incidencia en diferentes tipos de vegetación y las

diferentes aplicaciones en el manejo de este en la dinámica del ecosistema ha conducido al desarrollo de un cuerpo teórico que conforma la ecología del fuego. Por otro lado, Van de Vijver *et al.* (1999) expresan que es un fenómeno común que tiene un gran impacto en la estructura y funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, el efecto más evidente es la eliminación de la vegetación muerta, que se sustituye por el rebrote joven.

Por otro lado, Ladrach (2009) indica que en Canadá, Strang (1970) reportó que las quemas repetidas degradaron el suelo en las áreas rocosas del oeste de la Provincia de Nueva Escocia. También expresa que los daños más destacados debido al fuego son la erosión de suelos. Además hace énfasis en que un incendio fuera de control y muy caliente destruye el valor de la madera comercial en los bosques, bien sea plantación o bosque natural. Sin embargo, la quema oportuna y controlada con temperaturas moderadas no afecta el crecimiento de los árboles o de los cultivos establecidos posteriormente, no produce daños al suelo, no contaminan el aire ni afecta a la fauna tanto como se cree popularmente. Así mismo las quemas controladas juegan un papel importante para la reducción del peligro de incendios forestales y agrícolas y es el método más económico para el manejo de los mismos. En muchas partes del mundo se ha comprobado que el daño debido a incendios fuera de control aumenta cuando no se practican las quemas controladas.

Así mismo, el fuego es un elemento que ha jugado un papel importante en la formación y mantenimiento de la biodiversidad en todo el mundo, de allí que la mayoría de los hábitats terrestres dependen de él para su sostenibilidad ecológica (Myers, 2006) igualmente, algunos autores plantean que el fuego tiene también su “cara buena”, durante un incendio forestal, también en las quemas prescritas, así como en las quemas controladas y en las agropecuarias, siempre que su manejo se lleve a cabo de manera integral, considerando los aspectos socioeconómicos, culturales, ecológicos y técnicos (capacitación y recursos) que intervienen. Esto es con el objeto de tener una mejor convivencia con el fuego, maximizando los impactos positivos y minimizando sus impactos negativos, por esta razón, se ha difundido el concepto del Plan de Manejo Integral del Fuego (PMIF) (Pantoja, 2008).

Este plan permite sustentar los procesos de los ecosistemas dependientes del fuego, actuando de manera de limpiar el humus y favorecer el rebrote vegetal, lo cual a su vez favorece y aumenta la riqueza de especies en el sotobosque. De igual forma libera y pone disponibles los nutrientes al suelo, reduce la acumulación de combustibles y se protege al ecosistema de la ocurrencia de incendios de mayor intensidad. Esto fomenta la diversidad de hábitats, al abrir espacios para el crecimiento de nuevas plantas, las cuales sirven de alimento a una gran cantidad de especies animales. Así mismo, al realizar prácticas de manejo de combustibles en ecosistemas sensibles puede reducirse el peligro de incendios. Además se pueden realizar acuerdos con los usuarios del fuego para ordenar y regular el empleo del mismo. Finalmente cuando se realizan quemas prescritas y controladas con objetivos ecológicos, pueden prevenirse incendios severos y proteger muchas propiedades (Pantoja, 2008).

#### **3.1.4- Manejo Integral del Fuego (MIF)**

El manejo integral del fuego incluye la integración de la ciencia con los elementos socioeconómicos a nivel múltiple. Como tal, implica un enfoque holístico para abordar los problemas de fuego que considera los riesgos biológicos, las interacciones ambientales, culturales, sociales, económicas y políticas. (Myers, 2006). Del uso del manejo del fuego se deriva las prácticas de fertilización por medio de las quemas, la cual trae consigo una serie de ventajas desde el punto de vista ecológico entre ellas la preservación de la biodiversidad en un ecosistema.

#### **3.1.5- Quema**

La FAO (2012) indica que la quema es un término general para cualquier fuego no estructural que se produce en la vegetación y/o combustibles naturales. Este término incluye tanto a las quemas prescritas como a los incendios. Así mismo señalan que, un incendio es cualquier fuego imprevisto e incontrolado que independientemente de su origen puede requerir una intervención para suprimirlo, o cualquier otra acción de acuerdo con la política del organismo. El término de quema prescrita se refiere a cualquier quema intencional bajo un plan aprobado para cumplir objetivos específicos de manejo.

Como se ha mencionado en el transcurso de esta sección, las quemadas pueden aportar nutrientes, lo cual se traduce en beneficios para el suelo, de allí que se hace importante indicar los principales elementos o nutrientes en el suelo.

### **3.1.6- Micronutrientes y macronutrientes**

Como fue señalado anteriormente, el fuego es una herramienta muy usada para estimular el crecimiento de pastos verdes ricos en macro y micro-nutrientes aportados a través de las cenizas liberadas al suelo después de una quema. Los nutrientes presentes en la biomasa pueden experimentar tres procesos por efecto del fuego en primer lugar pueden perderse hacia la atmósfera, otra forma es depositarse como ceniza o permanecer en la vegetación que no fue quemada (Bilbao, 1995).

Ronen (2008) indica que los nutrientes del suelo están divididos en dos grupos de acuerdo a la cantidad demandada por la planta. Los macronutrientes son aquellos que son demandados en cantidades relativamente altas ( $> 0,1\%$ ). En este grupo se pueden distinguir dos sub-grupos, los principales y secundarios. Los nutrientes como el carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son considerados como los macro-elementos principales y el calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son los secundarios.

Además expresa que, los micronutrientes son aquellos elementos que se necesitan sólo en cantidades traza ( $< 0,1\%$ ), entre los cuales se tiene al hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), y sodio (Na). En esta categoría, hay tres criterios que deben ser considerados para que un elemento sea esencial: (1) Una planta no deber ser capaz de completar su ciclo de vida ante la ausencia de un elemento esencial. (2) La función del elemento no puede ser reemplazada por otros elementos minerales. (3) Los elementos deben estar involucrados directamente en el metabolismo de la planta (Ronen, 2008).

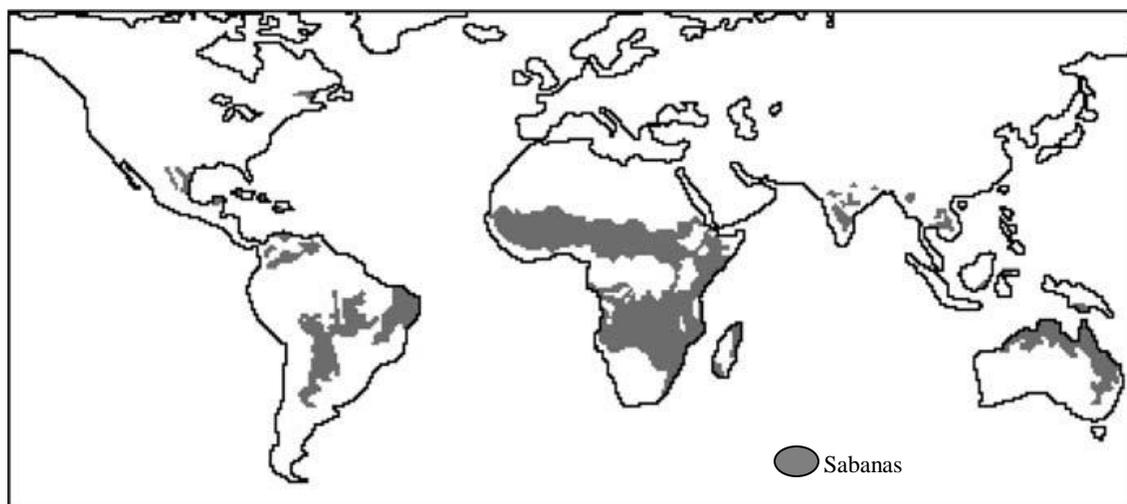
La mayoría de las interacciones suelo, fuego y aporte de nutrientes ocurre en las sabanas, los cuales son ecosistemas adaptados a estas condiciones y que están presentes en diferentes ambientes tropicales en el mundo.

### 3.1.7- Sabanas

Desde hace muchos años, se ha estudiado el origen de las sabanas y se ha responsabilizado de su formación al fuego, a quien también se le atribuye el proceso de sabanización por efecto de la reducción de los bosques (Bilbao, *et al*, 2010). Es por esta razón, que las sabanas se pueden definir como los ecosistemas con un casi continuo estrato herbáceo, compuesto por gramíneas y ciperáceas del tipo fotosintético C4, con presencia variable de árboles y arbustos (entre 0 y 80 % de cobertura) y estrechamente asociados a un clima bi-estacional con alternancia de estaciones secas y húmedas (Bustamante, *et al*, 2006).

Estos autores indican que, las sabanas son el tipo de vegetación más común en los trópicos y sub-trópicos, cubriendo extensas áreas de Sur América, África y Australia, y también se producen en América Central, India y América del Norte (Figura 2). En estas zonas la estación seca (durante los meses de invierno astronómico) puede durar de 2 a 9 meses, existiendo una alta variabilidad climática interanual. Los ecosistemas de sabanas están controlados por las interacciones entre la disponibilidad de agua y nutrientes. Sin embargo, la vegetación de sabana a menudo se produce en suelos erosionados con baja disponibilidad de nutrientes y en regiones de escasas precipitaciones. Esta estructura básica del ambiente se modifica por factores adicionales, tales como la frecuencia en la ocurrencia del fuego y las prácticas de uso de la tierra (Bustamante, *et al*, 2006).

Casi una quinta parte de la población mundial vive en regiones de sabana, y éstos son probablemente los ecosistemas más antiguos utilizados por la gente, ya que han sustentado las prácticas de cacería y pastoreo de ganado durante milenios. Actualmente las sabanas están experimentando muchas transformaciones debido a intensificación de la agricultura, el pastoreo excesivo y los cambios en los regímenes de ocurrencia del fuego (Bustamante, *et al*, 2006).



**Figura 2.** Patrones de distribución global sabanas tropicales (derivado de Olson *et al.* (1983) citado en Bustamante,*et al.* 2006).

### 3.1.8- Efecto del fuego en los suelos de las sabanas

Frost y Robertson (1985) expresan que los incendios regulares son uno de los rasgos característicos de las sabanas tropicales. Mientras algunos todavía son causados por relámpagos, recalcan que la principal fuente de incendios (decenas de miles de años) ha sido por el hombre, para la caza y el cultivo, mejorando la calidad de pastoreo para el ganado, y el control de la propagación de plantas leñosas. Estos autores, señalan, que el uso del fuego por los seres humanos, ha sido una práctica tan frecuente, que la mayoría de las sabanas son consideradas sistemas antropogénicos derivados de la deforestación. Aunque estas sabanas “derivadas” son generalizadas en los trópicos, particularmente en zonas muy húmedas, el fuego se reconoce como uno de una serie de factores que interactúan y afectan la dinámica de la sabana.

De igual forma, hacen énfasis que el comportamiento del fuego, el tiempo, intensidad y frecuencia de ocurrencia, afectan tanto al medio ambiente, como la biota en un número de maneras directas e indirectas. Los incendios reducen la biomasa vegetal, alterando así la energía, los flujos de nutrientes y de agua entre el suelo, las plantas y la atmósfera. Estos cambios, a su vez pueden afectar a largo plazo el estado de los nutrientes y la productividad del sistema. Sin embargo, Bilbao (1995) indica que los efectos directos resultan del calentamiento del suelo y la depositación de cenizas, mientras que los efectos indirectos son consecuencia de los cambios temporales de la vegetación, la biota y el microclima del suelo por la acción del fuego. Otros factores, son también importantes como

la historia previa de quema, la calidad y cantidad de material de combustible quemado, las características de la quema, el tipo de suelo y las condiciones climáticas en el momento de la quema y post-quema. Además, indica que la mayoría de los cambios físicos en el suelo ocurren por encima de los 600°C. Los fuegos a nivel superficial en las sabanas no generan temperaturas suficientes para causar estos cambios. Los efectos a largo plazo en las propiedades físicas de los suelos están más relacionados con los cambios en la cubierta vegetal y la deposición de hojarasca que resultan de fuegos frecuentes. Estos reducen la protección de suelo de los efectos erosivos por la acción de las lluvias, afectando el microclima y la actividad de la micro-fauna del suelo. (Frost y Robertson, 1985).

Además expresan que, los efectos directos del fuego en el medio ambiente ocasionan un aumento de las temperaturas en el suelo y la atmósfera durante el incendio, provocando una reducción de la materia orgánica y la liberación de elementos por volatilidad. El fuego también afecta al medio ambiente indirectamente por la eliminación o reducción de la planta y la cubierta vegetal, por lo tanto, modifica tanto el microclima post-incendio como la actividad de la biota del suelo. (Frost y Robertson, 1985).

### **3.1.9- Liberación de nutrientes por efecto del fuego**

Frost y Robertson (1985) indican que, el fuego oxida los elementos asociados a la materia orgánica que compone la vegetación, por lo que, al quedar liberados en el suelo, están disponibles para las plantas. La intensidad y la duración de una quema o incendio, va a depender de la cantidad de material combustible disponible que se consume. Alguno de los elementos liberados suelen ser nitrógeno (N), carbono (C), y azufre (S) (200- 450 °C aproximadamente), también se incluye pero en menor proporción el fósforo (P) y el potasio (K) que se volatilizan a mayores temperaturas (> 500°C aproximadamente), los cuales se pueden perder hacia la atmósfera. El material que no es volatilizado o bien se deposita sobre la superficie del suelo o, en menores cantidades, se pierde como partículas en el humo o ceniza. El material que se deposita sobre el suelo vuelve a entrar en el mismo, o se redistribuye por el viento o por la escorrentía superficial. Esta última depende de la topografía y el tiempo que el suelo permanezca expuesto después de un incendio, así como por la cantidad e intensidad de las precipitaciones posteriores al incendio. La incorporación de nutrientes en el suelo por efecto de acumulación de las cenizas, independientemente de

las características del fuego, ocurre solo en los primeros 5 cm del suelo, y pueden mantenerse durante un máximo de un mes después de la ocurrencia del fuego. Sin embargo, estos autores, señalan que la pérdida de nutrientes por volatilización y exportación de cenizas durante incendios de sabana rara vez se ha medido de manera satisfactoria. (Frost y Robertson, 1985).

Debido a que el proceso de combustión durante la quema implica la pérdida de biomasa, pudiera esperarse una considerable disminución de nutrientes del sistema. Sin embargo, en la mayoría de los casos, importantes fracciones de los nutrientes contenidos en la biomasa son depositados en el suelo a través de la acumulación de cenizas. Bilbao (1995) indica que el régimen de las quemadas podría inducir patrones definidos en la disponibilidad de nutrientes, por ejemplo incrementando los valores de pH y disminuyendo el % Al además de aumentar la concentración de K, Ca y Mg producto de la deposición de las cenizas. Pero recalca que estos efectos son temporales, ya que después de 90 días la concentración de los nutrientes disponibles y el pH descienden. Esto es causado por la lixiviación de los nutrientes por efectos de las lluvias, la absorción de la solución del suelo por las raíces de las plantas, o una combinación de ambos. (Frost y Robertson, 1985).

### **3.1.10- Frecuencia del fuego**

La frecuencia del fuego determina el tiempo que un suelo tiene para recuperarse antes de que ocurra el próximo evento (Frost y Robertson, 1985). Estos autores postulan que cuando la tasa de recuperación de la vegetación del sistema es muy lenta, los suelos quedan expuestos y lo más probable es que su estructura y composición sean alteradas, sobre todo cuando la frecuencia del fuego es muy alta. La tasa de recuperación depende de: (1) La magnitud de los daños sufridos por el fuego, (2) la forma de recuperación. (3) las condiciones ambientales post-incendio, en particular la cantidad y la distribución temporal de las lluvias, así como la cobertura de biomasa aportada por la vegetación que crece en el suelo. La cantidad de nutrientes en el suelo, será también importante para favorecer la recuperación de la biomasa post-quema.

### **3.2- Generalidades de la zona de estudio**

#### **3.2.1- Geología y geomorfología**

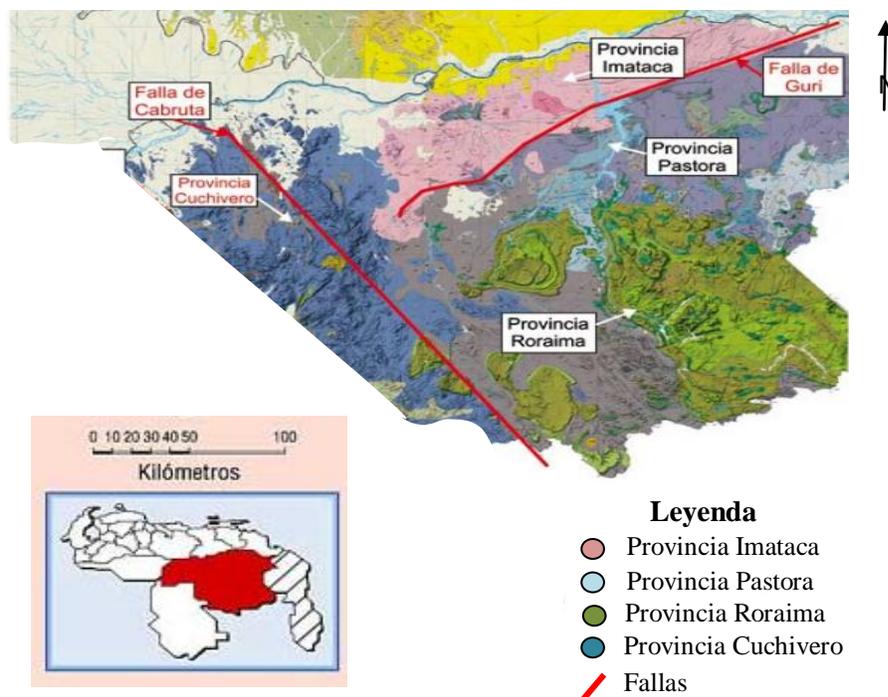
El Parque Nacional Canaima se encuentra emplazado en el Escudo de Guayana en el estado Bolívar. El Escudo Guayanés limita al norte con el Río Orinoco, al Oeste con Colombia por los ríos Orinoco, Atabapo y Guainía-Negro; al Sur con Brasil en Cocuy-Neblina cabeceras de los ríos Orinoco-Ventuari y la Sierra Pacaraima, en la Gran Sabana, y al Este con la Zona en Reclamación con los ríos Venamo y Cuyuní, cubriendo casi el 50% de la superficie de Venezuela (Mendoza, 2002) Por su origen Precámbrico esta región, constituye uno de los núcleos terrestres más antiguos del continente americano, el cual presenta evidencias de las diferentes fuerzas y ciclos erosivos que han actuado en el pasado y continúan actuando en el presente. El clima y los eventos tectónicos representan los principales modeladores que han producido una secuencia de superficies de erosión claramente reconocibles a diferentes niveles altitudinales (Rivera Lombardi, 2009).

Mendoza (2006), divide geológicamente el Escudo de Guayana, en varias provincias (Figura 3):

- La Provincia de Imataca, caracterizada por filas alargadas de cuarcitas ferruginosas, tipo Cerro Bolívar y gneises cuarzo-feldespáticos anfibolíticos y granulíticos, migmatitas, charnockitas y algunos mármoles dolomíticos del Complejo Imataca, que ocupan zonas montañosas con alturas superiores a los 400 m.s.n.m.
- Luego se encuentra la provincia geológica de Pastora, con sabanas planas y bajas ocupadas por granitos del Complejo de Supamo, y filas largas y estrechas con alturas por debajo de los 500 m.s.n.m., también se halla los cinturones de rocas verdes del Súper Grupo Pastora, y filas más anchas y más bajas de cinturones verdes, más jóvenes del Grupo Botanamo. Las mayores alturas se localizan en pequeños plateau de diabasas, con núcleo de rocas graníticas como en el Dique Anular de Nuria, con alturas superiores a los 500 m.s.n.m.
- La Provincia de Cuchivero originalmente incluía al Granito hornbléndico de Guaniamito dentro de esta Asociación Cuchivero, pero dada su composición y edad, a pesar de presentar estructura gneisica, por efecto de la Falla de Cabruta, ahora se incluye como un equivalente del granito rapakivi de El Parguaza, de tendencia

tholeiítica, de alto contenido en Fe. Esta provincia de Cuchivero se compone esencialmente de rocas granitoides calcoalcalinas y su basamento en el Sur del Escudo de Guayana en Venezuela son gneises y migmatitas tonalíticos, similares a las de los Complejos graníticos de Supamo.

- La Provincia de Roraima, al Sur de las cabeceras del Río Cuyuní, alcanza grandes áreas planas y altas; llamada la Gran Sabana, formada por areniscas feldespáticas del Mesoproterozoico con alturas de 1.500 a 800 m.s.n.m., desde Luepa hasta Santa Elena del Uairén, culminado por tepuys o mesas altas de orto-cuarcitas sedimentarias del Grupo Roraima, tales como el Roraima, Auyantepuy, Chimantá y hacia Amazonas los tepuys de El Pañuelo, Cuao, Autana, Parú, Duida y Marahuaca entre otros, con alturas que van desde los 2.000 m.s.n.m., en el Roraima, hasta los 3.400 m.s.n.m. en el Marahuaca.



**Figura 3.** Provincias Geológicas del Escudo de Guayana en Venezuela (Tomado de Mendoza, 2006)

El Parque Nacional Canaima (PNC) se encuentra en la Provincia de Roraima, el cual se extiende hasta la frontera con Guyana y Brasil. Este Parque, posee una extensión de 30 mil Km<sup>2</sup> (Figura 4) por lo que es considerado el cuarto parque nacional más grande del mundo

y el segundo en nuestro país. Se ha posicionado como uno de los centros de atracción turística más importantes del planeta, debido a la diversidad de paisajes naturales, epicentro de una rica diversidad de flora y fauna y origen de la cultura ancestral del pueblo Pemón. La presencia de tepuyes; la alta diversidad de especies y endemismo, la preservación de asentamientos indígenas, ricos en historia y tradición, así como su geología y fisiografía singular, le valieron la declaración de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1994 (Señaris *et al.* 2009).

El parque está ubicado al sur del río Orinoco, en la jurisdicción de los municipios autónomos Piar, Roscio, Sifontes y Gran Sabana, correspondiéndole a este último la mayor extensión del parque. El Parque Nacional Canaima está drenado casi en su totalidad por ríos de la cuenca del Caroní y en menor proporción, por la parte alta de la cuenca del río Cuyuní, al noreste. Se reconocen tres grandes unidades fisiográficas: 1) Tierras bajas, situadas entre el nivel del mar hasta 500 m de altitud, caracterizadas por presentar un relieve de colinas bajas y temperaturas medias anuales superiores a los 24 °C; 2) Tierras medias, entre los 500 y 1.500 m de altitud aproximadamente, donde predominan relieves de colinas, montañas bajas, planicies altas onduladas, laderas bajas de los tepuyes y las cimas de los tepuyes bajos, con temperaturas medias anuales entre los 18 °C y 24 °C; y 3) Tierras altas, situadas entre los 1.500 y 3.000 m de altitud, con temperaturas medias anuales entre 8 °C y 12 °C, que constituyen el rasgo fisiográfico más característico del parque, representado por montañas de areniscas tabulares de cimas planas y paredes verticales, conocidas con el nombre de tepuyes (Huber, 1995; Señaris *et al.* 2009). (Figura 5).

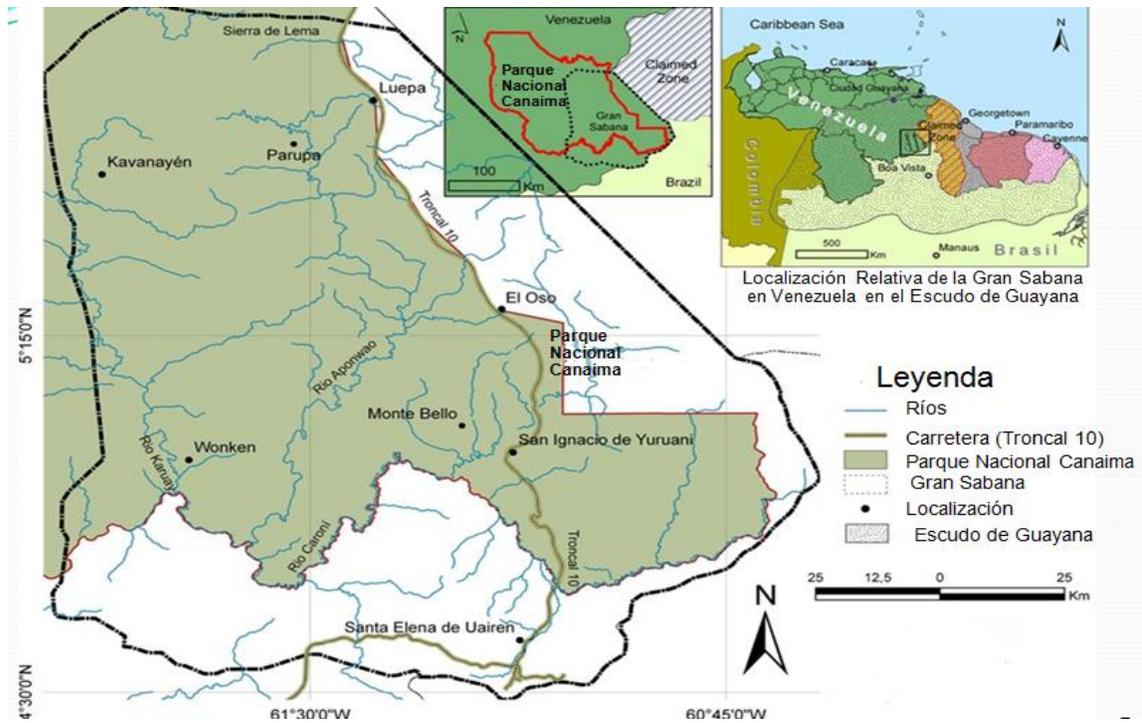


Figura 4. Localización del Parque Nacional Canaima (Tomado de Bilbao, *et al*, 2010).

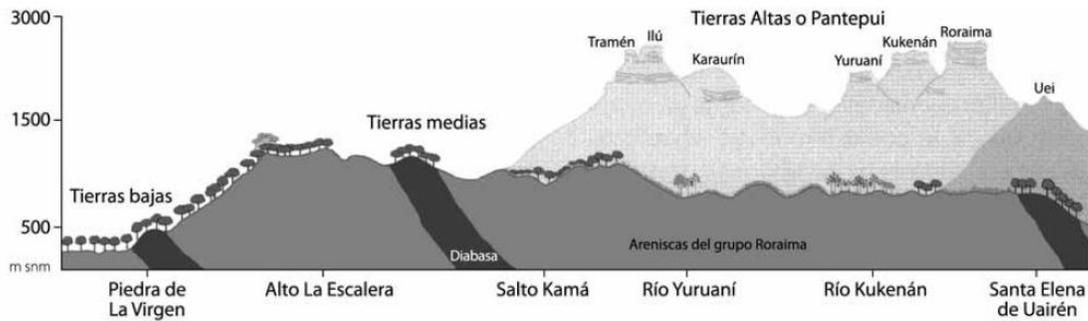


Figura 5. Vista esquemática de la Gran Sabana, desde el km 88 hasta Santa Elena de Uairén. (Tomado de Huber y Febres, 2000).

CVG-TECMIN (citado en Señaris *et al.*, 2009), estableció que desde el punto de vista geomorfológico en el Parque Nacional Canaima se encuentran presentes, los siguientes tipos de paisajes:

- **Montaña:** Este tipo de paisaje se ubica en el noroeste del parque, en las proximidades del poblado de Canaima. Se caracteriza por no superar los 400 msnm,

ni presentar pendientes mayores al 60°. Litológicamente están conformadas por un sistema de diques y sills, compuestos de rocas básicas intrusivas.

- **Altiplanicie:** Se presenta como una unidad de configuración tabular amplia, extensa y masiva, la cual ha evolucionado a partir de estratos de rocas sedimentarias tales como: areniscas cuarzosas, areniscas feldespáticas, areniscas volcánicas y otras, de la Provincia Geológica de Roraima. Localmente estas altiplanicies son conocidas con el nombre indígena Pemón de tepuyes.
- **Piedemonte:** El paisaje de piedemonte corresponde a toda el área que circunda las altiplanicies. Se origina por la depositación de materiales provenientes de la fragmentación de bloques de arenisca y la actividad erosiva de las altiplanicies.
- **Lomerío:** El lomerío ocurre como un tipo de paisaje intermedio entre la montaña y la peniplanicie, ya que el material parental es semejante en estos tipos de paisajes. Entre los relieves presentes en este paisaje el más representativo lo constituye la loma.
- **Peniplanicie:** Este tipo de paisaje forma parte de un área suavemente ondulada, representando la superficie de erosión más evolucionada de los paisajes que la rodean. Poseen pendientes variables entre 4 y 8° y un promedio altitudinal de 450 msnm. El substrato geológico ha sido formado por rocas volcánicas del Grupo Cuchivero, que una vez sometidas a eventos tectónicos y procesos erosivos severos muy prolongados dieron origen a este tipo de paisaje dominados por colinas, las cuales constituyen el tipo de relieve más representativo de la peniplanicie. Vale recalcar que la zona de estudio predomina este tipo de paisaje.
- **Valle:** Los valles son grandes extensiones, cuyas pendientes varían entre 0 y 4°, incluye colinas bajas producto de la erosión diferencial cuyo material es netamente residual. El sector depositacional se limita a las márgenes de los ríos donde se forman las playas de textura arenosa por depositación continua de sedimentos.

### 3.2.2- Habitantes, asentamiento y acceso

De acuerdo a hallazgos arqueológicos se ha podido establecer que el área del Parque Nacional Canaima estuvo ocupada desde épocas remotas por grupos del pueblo Caribe, quienes dejaron evidencias de su cultura que datan de 5.000 a 7.000 años a. C. Este

poblamiento tuvo lugar en la región de la Guayana venezolana, en grupos sucesivos, de los cuales se deriva los Pemón. Estos , se ubican en toda la cuenca del río Caroní, aguas arribas de San Pedro de las Bocas, también se ubican en la cuenca del río Karún y su afluente el río Antabari, el valle del río Paragua, las riberas del río Oris y el río Paragua, aguas abajo del Salto Urama. Hacia el este ocupan la cuenca alta de los ríos Kamarang y Venamo y el valle del río Cuyuní, cerca de la localidad de El Dorado (Rivera-Lombardi, 2009).

Además, los Pemón se dividen en tres grandes subgrupos dialectales, mutuamente inteligibles: Arekuna, Kamarakoto y Taurepán (Señaris *et al.* 2009). Según el censo nacional (INE 2001), la población total del grupo indígena Pemón fue estimada en 23.300 personas para el 2001, mientras que en el censo correspondiente al 2011 se estimó 30.148 habitantes (INE 2011) constituyéndose así en el tercer grupo indígena numéricamente más importante del país (ocupando el primer lugar los Wayuu, y el segundo los Warao) y el Parque Nacional Canaima en el parque con mayor número de habitantes indígenas (Bilbao *et al.* 2010). De igual forma estos autores mencionan, que el patrón de asentamiento Pemón ha experimentado diversos cambios en los últimos 40 años. En el pasado, el número de habitantes en un asentamiento Pemón variaba entre 7 y 50 personas y estaba constituido por uno o más núcleos familiares siguiendo un patrón semi-nómada. En la actualidad, el patrón de asentamiento es sedentario y el número de habitantes de las comunidades oscila entre 100 y 1.000 personas. Estos asentamientos son el resultado de la influencia de misiones religiosas, capuchinas o adventistas, la actividad turística y la actividad minera (Señaris *et al.*, 2009).

En este mismo orden de ideas, la subsistencia tradicional de los Pemón se basa principalmente en la agricultura (conucos), la caza, la pesca y la recolección, aunque algunas comunidades se benefician del turismo y la minería artesanal (Señaris *et al.*, 2009). Estos autores, señalan que el acceso al Parque Nacional Canaima es realizado por vía terrestre, aérea o fluvial. En el Sector Occidental el acceso, así como el traslado de personas desde y hacia los diferentes centros poblados, se realiza principalmente por vía aérea o por vía fluvial en menor proporción, pues no existe ningún tipo de conexión con la red vial nacional. Sin embargo, en la Gran Sabana, hay un excelente sistema vial aunque solo está asfaltada la Troncal 10.

### 3.2.3- Clima

Las características climatológicas del Parque Nacional Canaima están fuertemente influenciadas por el desplazamiento anual del frente de convergencia intertropical y los vientos alisios (CVG-TECMIN (citado en Señaris *et al.*, 2009)). Estas características varían espacialmente debido al gran número de elevaciones –tepuyes– que ocasionan el ascenso de las masas de aire las cuales, al condensarse, forman nubes orográficas, incidiendo en la radiación recibida y en el régimen de precipitación del parque.

Por otro lado, señalan que la precipitación media anual en el Parque Nacional Canaima es de 3.169 mm y de régimen uní-modal, con un período lluvioso entre mayo y noviembre y otro seco entre diciembre y abril. Estos autores citan a Rivera-Lombardi (2009), quien agrega que la temperatura media anual en el Parque Nacional Canaima presenta un régimen isotérmico y poca variabilidad anual, debido a su ubicación en la región tropical, donde no existen variaciones superiores a 5 °C entre el mes más cálido y el mes más frío. La temperatura media anual es de 21,3 °C, con una oscilación térmica de 1,8 °C. Según la clasificación climática de Koeppen, en el Parque Nacional Canaima existen dos tipos climáticos: a) Tropical Lluvioso Monzónico, caracterizado por presentar un mes en el cual la precipitación media es inferior a 60 mm y donde las estaciones meteorológicas representativas de este tipo climático son Kamarata y Canaima y b) Tropical Lluvioso de Selva, caracterizado por presentar todos los meses precipitaciones superiores a 60 mm. Las estaciones meteorológicas representativas de este último tipo climático son Kavanayén, Urimán y Wonkén (Señaris *et al.*, 2009).

Huber y Febres (2000) agregan que la Gran Sabana es un paisaje mixto de sabanas y bosques, clasificado como un clima muy húmedo premontano tropical con una distribución desigual de las lluvias. La escasez de lluvia en la estación seca, entre enero y abril, es donde se sitúa a la zona de mayor riesgo de incendios destructivos durante el año.

En cuanto a la vegetación, la Gran Sabana está constituida por un mosaico de sabanas y bosques, siendo estos últimos los de mayor extensión (60%) (Delgado *et al.*, 2009; Montoya *et al.*, 2011). Las sabanas son inarboladas dominadas por gramíneas y ciperáceas, y con un reducido componente de dicotiledóneas (Bilbao *et al.*, 2011). El

predominio de la vegetación de sabana en un clima aparentemente más adecuado para el desarrollo de extensos bosques de lluvia, como es la norma en las regiones circundantes, ha dado lugar a varias hipótesis de su origen, relacionadas con las condiciones edáficas, cambios climáticos, y fuegos de origen humano (Montoya *et al.*, 2011).

#### **3.2.4- Hidrografía y drenaje**

Señaris *et al.*, (2009), indican que el Parque Nacional Canaima se ubica, casi en su totalidad, dentro de la cuenca del río Caroní y en menor proporción, en la parte alta de la cuenca del río Cuyuní al nordeste del parque. La cuenca del río Caroní, es drenada por dos grandes sistemas fluviales - los ríos Caroní y La Paragua - ocupando una superficie aproximada de 95.000 km<sup>2</sup>, la mayor de las cuencas de la Guayana venezolana. Estos autores citan a CVG-TECMIN (1989) quienes indican que el río Caroní es un importante tributario del río Orinoco, el más largo y caudaloso del país. Es un río típico de aguas de color negro a marrón oscuro, con bajas cantidades de partículas en suspensión, de bajo a extremadamente bajo contenido de nutrientes y alta acidez (pH 3.8- 5.0).

#### **3.2.5- Suelos**

Señaris *et al.*, (2009) señalan que los diferentes tipos de suelo del Parque Nacional Canaima se han formado a través de largos procesos de alteración de los diferentes tipos de rocas, bajo condiciones climáticas muy variables, además de los cambios ocurridos a nivel de la cobertura vegetal. Estos suelos comprenden diferentes órdenes conocidos para las latitudes tropicales, con un marcado predominio de Ultisoles y Entisoles.

Así mismo, Huber (1995), agrega que debido al bajo contenido de bases del material parental y a las altas tasas de alteración que han sufrido estos suelos, de manera general, se puede afirmar que son pobres a muy pobres en nutrientes, especialmente en fósforo, calcio y nitrógeno, con baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico y pH extremadamente ácido (pH 3 y 5). Presentan altas acumulaciones de aluminio en el subsuelo, afectando de esta manera el balance de nutrientes de la vegetación que en ella se desarrolla. Las condiciones más adecuadas, en cuanto a nutrientes y bajos valores de acidez, se dan únicamente en suelos que se han formado a partir de material parental ígneo, como diabasas intrusivas, gabros y rocas volcánicas, favoreciendo así el desarrollo de una cobertura

vegetal arbórea y aparentemente más resistente a las intervenciones antrópicas, que aquéllos desarrollados en suelos predominantemente pobres.

CVG-TECMIN (1989b, cit. en Señaris et al., 2009), quienes realizaron el levantamiento de suelos siguiendo el sistema de clasificación de suelos “Soil Taxonomy” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), identifican para el Parque Nacional Canaima los siguientes órdenes de suelos:

- **Ultisoles:** Este tipo de suelos es el de mayor extensión en el parque y se distribuye en una amplia variedad de paisajes: montaña, altiplanicie, piedemonte, lomerío, peniplanicie y valle. Su desarrollo ocurre sobre rocas pertenecientes a las Provincias del Roraima y Cuchivero, y a nivel local, a partir de materiales aluvio-coluviales de edad reciente. Estos suelos se caracterizan por ser arcillosos o arenosos y ácidos (pH ácidos) por lo que su fertilidad es de baja a escasa. Vale recalcar, que en la zona de estudio predomina este tipo de suelos.
- **Entisoles:** Este orden constituye otro de los suelos más frecuentes del Parque Nacional Canaima. Se distribuye dentro diferentes tipos de paisajes: montaña, altiplanicie, piedemonte, lomerío, peniplanicie y valle. Se han desarrollado, en su mayoría, a partir de material geológico proveniente de rocas de la Provincia Geológica del Roraima y Cuchivero y en menor proporción a partir de sedimentos aluviales recientes. Generalmente presenta el Horizonte A que es muy parecido al material rocoso que le dio origen y sobre el cual descansa.
- **Inceptisoles:** Constituye uno de los suelos de poca frecuencia en el parque. Estos han evolucionado a partir de material geológico proveniente de rocas de la Provincia Geológica del Roraima, y también a partir de materiales coluvio-aluviales. Son menos jóvenes que los entisoles y con un desarrollo incipiente de sus horizontes, presentan el Horizonte B que es de color rojizo a amarillento.
- **Histosoles:** Este orden constituye el grupo de suelos de menor frecuencia en el Parque Nacional Canaima. Se encuentran en los paisajes de altiplanicie (tepuyes), principalmente en los relieves de mesa. No han evolucionado a partir de material geológico sino de restos vegetales en condiciones de drenaje deficiente, saturado de

agua, y/o bajas temperaturas (10-18 °C). Estos suelos tienen una alta concentración de materia orgánica por lo que es un gran almacén de carbono orgánico, la mayoría de estos suelos son ácidos y carecen de nutrientes.

### **3.3- Antecedentes**

Desde hace 15 años en el Parque Nacional Canaima se han llevado a cabo proyectos para entender cuál es el efecto y comportamiento del fuego sobre los suelos, vegetación y el ecosistema de sabana característico de la región en pro de su mantenimiento ecológico. Frost y Robertson (1985) indican que el uso eficaz del fuego como herramienta de gestión requiere un conocimiento profundo de esta complejidad en la interacción y respuesta del fuego. Aunque la considerable práctica de este estudio está disponible en la aplicación del fuego en la sabana en gestión, aún queda mucho por aprender acerca de sus diferentes efectos y cómo éstos interactúan con otros procesos ecológicos que influyen en la dinámica de la sabana.

Es por eso que, desde 1999 se ha llevado a cabo una serie de proyectos que han permitido explicar cuáles son los efectos del uso del fuego utilizado por los Pemón y si es o no beneficioso para los suelos de la sabana (“Interacciones Atmósfera – Biosfera en la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela” iniciado en 1999, PROYECTO G-98-001124, y el proyecto multidisciplinario G-2005000514 “Factores de riesgo en la reducción de hábitats en el Parque Nacional Canaima: vulnerabilidad y herramientas para el desarrollo sostenible” (Proyecto Riesgo) que comenzó a ejecutarse en el año 2006 (ambos financiados por FONACIT), bajo los cuales se establecieron 21 parcelas permanentes desde el año 1999, para estudiar el comportamiento del fuego y sus efectos a largo plazo en los suelos, en relación a la composición de especies y la acumulación de biomasa.

Bilbao *et al.* (2010) señalan que los cambios socioculturales y demográficos han contribuido al uso insostenible del fuego, lo que lleva a la pérdida de los bosques y del hábitat. El uso excesivo junto con el aumento de la vulnerabilidad de los bosques al fuego, podría poner los ecosistemas y el bienestar humano en situación de riesgo. Esto conlleva a una problemática puesto que los Pemón usan el fuego para sus métodos de subsistencia mientras que las políticas gubernamentales quieren excluir la utilización del fuego

provocando no solo un problema ecológico que se mencionará más adelante sino también cultural ya que afectaría el método de subsistencia de estos indígenas.

Estos autores agregan que el Pemón usa el fuego de varias maneras en el Parque Nacional Canaima:

- El fuego dentro de los bosques: son esencialmente quemas donde se controla el comportamiento del fuego. Esta práctica de roza, tumba y quema es la base de la agricultura migratoria por lo que los incendios se producen en pequeñas parcelas dentro del bosque (llamada conucos).
- También se realizan quemas a lo largo de las fronteras de la sabana- bosque durante las actividades de caza para capturar venados y otras especies de presa grande, (estos incendios son menos controlados).
- Los fuegos en la sabana se usa para diversos fines (por ejemplo, comunicación visual, la limpieza de caminos y alejar los animales que se puedan encontrar alrededor de sus casas).
- También lo usan para curar enfermedades y hacer que la sabana se vea más bonita y verde.

Las decisiones relacionadas con el uso del fuego se basan en un conocimiento rico y extenso que se ha acumulado durante generaciones. El Pemón fundamenta esta práctica ancestral de manejar incendios a fin de evitar que ellos se salgan de control y provoquen catástrofes en las zonas boscosas (Bilbao *et al.* 2010).

Sin embargo, el origen de esta sabana sin árboles en un área tan húmedo ha sido motivo de controversia. Algunos autores han postulado un origen antrópico sobre la base de los regímenes intensivos del fuego, han argumentado que las quemas periódicas de la sabana y el bosque en tala y quema pueden salirse de control y penetrar algunos metros de bosque, lo que resulta en la retracción de los bosques bajo quemas sucesivas especialmente en los años más secos (Montoya, *et al.*, 2009). Por lo tanto, la cubierta de vegetación actual en la región se considera que es una etapa de transición en un proceso a largo plazo de sabanización producido originalmente por los incendios y condicionado por la capacidad de resistencia intrínseca del stress químico del bosque. (Bilbao *et al.* 2010).

En Venezuela se ven los incendios como perjudiciales para los ecosistemas del Parque Nacional Canaima, pero en otras partes del mundo en las últimas décadas han sido testigos de un cambio en el paradigma sobre el fuego, ya que en algunos ecosistemas el fuego ya no se considera perjudicial para la dinámica de la vegetación (Bilbao *et al.* 2010). Los investigadores de sabanas tropicales han demostrado que excluir el fuego resulta perjudicial ya que hay un aumento en la carga combustible, predisponiendo estas áreas a los incendios más catastróficos y de alta intensidad.

Basado en lo anterior, Van de Vijver *et al.* (1999), señalan que en los sistemas de sabana de África oriental, el fuego es un fenómeno común que tiene un gran impacto en la estructura y funcionamiento del ecosistema. El efecto más evidente de las quemas es la eliminación de la vegetación muerta, que se sustituye por el rebrote joven. Numerosos estudios han demostrado que después de la quema en la sabana, se tiene una mayor concentración de nutrientes en el suelo que en aquellos lugares sin quemar. Las causas para el aumento de las concentraciones de nutrientes post-quema sobre el suelo han sido relacionadas con: 1) un mejor suministro de nutrientes del suelo a través de cenizas o el aumento de la mineralización. 2) rejuvenecimiento y cambios relacionados en la composición del tejido de la planta y 3) reubicación de nutrientes de las raíces para la posterior distribución en el sistema. Asimismo, agregan que aunque los efectos a corto plazo del fuego pueden ser positivos para las concentraciones de nutrientes en la vegetación, los efectos a largo plazo pueden conducir a una disminución en la concentración de nutrientes en el sistema. La información de otros sistemas de sabana sugiere que la alta frecuencia del fuego, puede resultar en pérdidas significativas de nutrientes a través de la volatilización y la erosión de las cenizas, provocando una disminución de la producción vegetal.

De igual forma el Manejo Integral del Fuego aplicado en Australia desde 1996 con el Proyecto West Arnhem Land Fire Abatement (WALFA) fue el primer plan del manejo del fuego utilizado en sabanas junto con el conocimiento científico y la investigación para controlar mejor el alcance y la gravedad de los incendios forestales de las sabanas y reducir así las emisiones de gases de efecto invernadero. Los objetivos eran aumentar sustancialmente el alcance de la quema usando estratégicamente incendios prescritos,

gestionar y limitar la extensión de los incendios, reducir en la zona la cantidad de combustibles que se queman, cambiar la estacionalidad de las quemas (desde final de la sequía a principios de la época de sequía) e incluir a las comunidades indígenas en la planificación y toma de decisiones sobre el manejo del territorio (Russell-Smith *et al.*, 2013).

Los resultados indican que consiguieron reducir las emisiones del territorio al equivalente de 488,000 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gracias al uso de técnicas tradicionales para la lucha contra incendios durante la época seca. La práctica crea cortafuegos y una mezcla de terrenos quemados e intactos que minimiza la destrucción durante la época de incendios y aumenta la protección de la biodiversidad. En el caso del programa WALFA, la multinacional ConocoPhillips, que opera una planta de gas natural licuado en la localidad de Puerto Darwin, comprará a los grupos aborígenes créditos que equivalen a unas 100,000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. A cambio, los aborígenes recibirán un millón de dólares australianos anuales durante los próximos 17 años. El programa creará unos 200 puestos de trabajo en comunidades aborígenes, generará alrededor de 10 millones de dólares al año y es un proyecto ideal para ser exportado en las sabanas africanas donde conseguiría elevadas reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub>. El proyecto WALFA demuestra una forma valiosa y alternativa de ayudar a que los más pobres de África y Sudamérica, jueguen un papel en la mitigación del cambio climático y también a que desarrollen formas de vida sostenibles que encaren su principal problema, la pobreza. Muchos de los beneficios laterales de la iniciativa incluyen la protección de la biodiversidad, del patrimonio cultural y de paisajes de importancia mundial. Los beneficios para comunidades locales incluyen mayor empleo, la transferencia de conocimiento tradicional a las nuevas generaciones y la creación de medidas de confianza entre culturas necesarias para desarrollar turismo y otras actividades económicas sostenibles (Russell-Smith, *et al.*, 2013).

Hernández y López-Hernández (2000) señalan que, en las sabanas de *Trachypogon*, se encuentran sobre suelos ácidos con bajo contenido de macronutrientes esenciales, situación que puede ser acentuada por las quemas recurrentes de vegetación que promueve la pérdida de los mismos a través de la formación de compuestos volátiles y la dispersión de cenizas a la atmósfera.

Por su parte, el proyecto “Interacciones Atmósfera – Biosfera en la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela”, consistió en estudiar la interacción a largo plazo de la biomasa vegetal, el fuego y el carbono orgánico en los suelos (COS) en sabanas tropicales. Los resultados indican que el COS muestra un comportamiento oscilatorio asociado a los procesos de acumulación y desaparición de biomasa aérea. El fuego tiene un efecto positivo incrementando el %COS, el cual estuvo asociado a la cantidad de biomasa perdida durante la combustión. Estos cambios desaparecieron pocos meses de haberse efectuado las quemas ya que existe una tendencia general hacia una reducción de COS a largo plazo siendo mayor en las áreas quemadas que en las parcelas donde se excluyó el fuego, esto es debido a que en ecosistemas tropicales, las altas tasas respiratorias asociadas a una gran variedad microbiana en suelos en áreas quemadas sugieren una alta descomposición del material orgánico residual incorporado. La alta humedad y temperaturas ambientales existentes en esta región tropical podría favorecer la rápida descomposición y desaparición de la materia orgánica en el suelo después de las quemas (Bilbao *et al*, 2012).

Además el proyecto “Factores de riesgo en la reducción de hábitats en el Parque Nacional Canaima: vulnerabilidad y herramientas para el desarrollo sostenible” (Proyecto Riesgo), evaluó el impacto de las prácticas agrícolas Pemón sobre las propiedades químicas de los suelos: Carbono Orgánico Total (COT), Nitrógeno (N), pH y aluminio (Al) intercambiable bajo las siguientes condiciones: Bosque, Conucos con 1 año de establecidos, Conucos nuevos y Sabanas. Agregan que si bien en la Gran Sabana existen zonas localizadas que presentan condiciones más favorables en cuanto a nutrientes y valores de pH, originadas a partir de intrusiones ígneas (diabasas, gabros y rocas volcánicas), es evidente que la práctica de cultivo en esta región presenta fuertes limitaciones, debido a la baja disponibilidad de nutrientes, la alta toxicidad por concentraciones elevadas de Al intercambiable y la alta acidez de los suelos. Frente a estas condiciones la práctica de la tala y la quema utilizada por los Pemón para el establecimiento del conuco, favorece la entrada de nutrientes contenidos en la biomasa, pasando de la vegetación boscosa al suelo, y reduciendo la acidez de estos por la liberación de las bases intercambiables presentes en las cenizas. Además, obtuvieron como resultado que la fertilidad viene dada por los mayores contenidos de materia orgánica y nitrógeno del suelo desde los bosques = conucos > sabanas y por último, indican que el efecto del fuego sobre la acidez del suelo es temporal,

lo cual se evidencia a través del descenso de valores de pH y el incremento en la concentración del Al en suelos de conucos con 1 año de establecidos y en sabanas (Salazar, *et al.*, 2012).

El Proyecto IAB junto con el Proyecto Riesgo concluyeron que las quemas pueden ocurrir bajo un amplio rango de condiciones ambientales, además, pueden suceder bajo una amplia gama de características del combustible, donde la mayoría de las quemas mostraron una bajas intensidades de fuego y bajas eficiencias de quemas. Así mismo, se encontró que la carga de combustible fino más la velocidad del viento son los principales factores propagadores del fuego, así mismo, la vulnerabilidad del sistema aumenta con el incremento de la biomasa muerta, a su vez, las quemas no ocurren hasta que la carga total de biomasa alcance 600 g/m<sup>2</sup> y cuando la relación muerto/vivo es menor que 1, la baja tasa de recuperación de la biomasa luego de la quema, está entre 2 a 3 años después de la primera quema y más de 4 años después de la segunda quema. Además, la vegetación de sabana puede soportar la creación de un mosaico de parches con diferentes historias de quema, acumulación de biomasa y relación muerto/vivo, que puede ser utilizada como cortafuegos, reduciendo el riesgo de incendios peligrosos principalmente en las transiciones sabana –bosque. Esta técnica se conoce como Quema en Mosaico de Parches o Patch Mosaic Burning (PMB), que imita las practicas “ancestrales” empleadas por los Pemón a través de la quema cooperativa de las sabanas, lo que podría considerarse como un ejemplo de manejo sustentable del fuego en los límites sabanas bosques.

Finalmente basado en la presente revisión de antecedentes, existe la necesidad de estudiar el efecto del fuego en suelos de la Gran Sabana para corroborar si realmente existe un efecto positivo o negativos en términos del incremento o disminución de macro y micronutrientes producto de las quemas y observar como es la distribución y alcance temporal de los mismos (Bilbao *et al.*, 2010).

#### 4- MARCO EXPERIMENTAL.

El presente capítulo describe la metodología utilizada, tanto en condiciones de campo como en el laboratorio, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos al inicio de este trabajo.

##### 4.1- Etapa de Campo.

La zona de estudio, se encuentra en la cercanía de la Estación Científica de Parupa (5°43'N- 61° 35' W; 1226 msnm), en la Gran Sabana, Parque Nacional Canaima, Venezuela. Esta estación es parte de la Red Latinoamericana para la iniciativa mundial de la investigación ecológica a largo plazo. El experimento se llevó a cabo en un área extensa de sabanas, dominadas principalmente por gramíneas, y ciperáceas, adicionalmente se presentan *dicotiledóneas*, aunque son menos abundantes.

Con el fin de simular las condiciones naturales en las que se produce la mayoría de las quemadas, se establecieron 21 parcelas experimentales las cuales se encuentran en una zona donde se observa una transición gradual de sabana a bosques de galería, característico de la Gran Sabana (Figura 6, Huber y Febres, 2000). Estas parcelas tienen una longitud de 100 x 50 m (que equivale a 0,5 hectáreas) las cuales se presentan como un diseño de bloques al azar, en la orientación E-W (siguiendo la dirección del viento), separadas entre sí por 30 m de ancho (corta- fuegos) (Figura 7). Además, el fuego fue controlado por los Bomberos de EDELCA y un grupo de habitantes de la comunidad Pemón, de tal manera de tomar conjuntamente todas las decisiones con respecto a la hora del día, los ajustes de las condiciones meteorológicas y el inicio de las igniciones (Bilbao *et al*, 2010). Las parcelas fueron quemadas por un período o tratamiento de acuerdo al siguiente calendario:

**Tabla 1.** Tratamientos de quemas realizados en la zona de estudio

<b>Tratamientos</b>	<b>Fechas</b>
1	Enero 2000, Febrero 2000 (quemadas iniciales o tempranas).
2	Marzo 2000, Abril 2000 (quemadas intermedias)
3	Mayo 2000 (quemadas finales o tardías)
4	Febrero 2001
5	Febrero 2002
6	Marzo 2003
7	Febrero 2001 – Marzo 2003
8	Abril 2000- Marzo 2003
9	Enero, Febrero 2000- Febrero 2004
10	Mayo 2000- Febrero 2004
11	Febrero 2001- Febrero 2004
12	Febrero 2002- Febrero 2004

Los tratamientos correspondientes del 1 al 6 son las primeras quemadas realizadas, mientras que, los tratamientos del 7 al 12 son las segundas quemadas de esas parcelas que fueron realizadas en el 2000, 2001 y 2002. Basado en lo anterior, para el presente trabajo de tesis se consideró trabajar con las muestras de las quemadas correspondientes al año 2000, el cual fue el año donde se iniciaron las quemadas. Así mismo se analizaron las muestras de las parcelas control (que nunca fueron quemadas durante el período del experimento), y en las quemadas realizadas en diferentes períodos de la estación seca y lluviosa:

- Tratamiento 1: QTP Enero 2000, Febrero 2000.
- Tratamiento 2: QIN Marzo 2000, Abril 2000

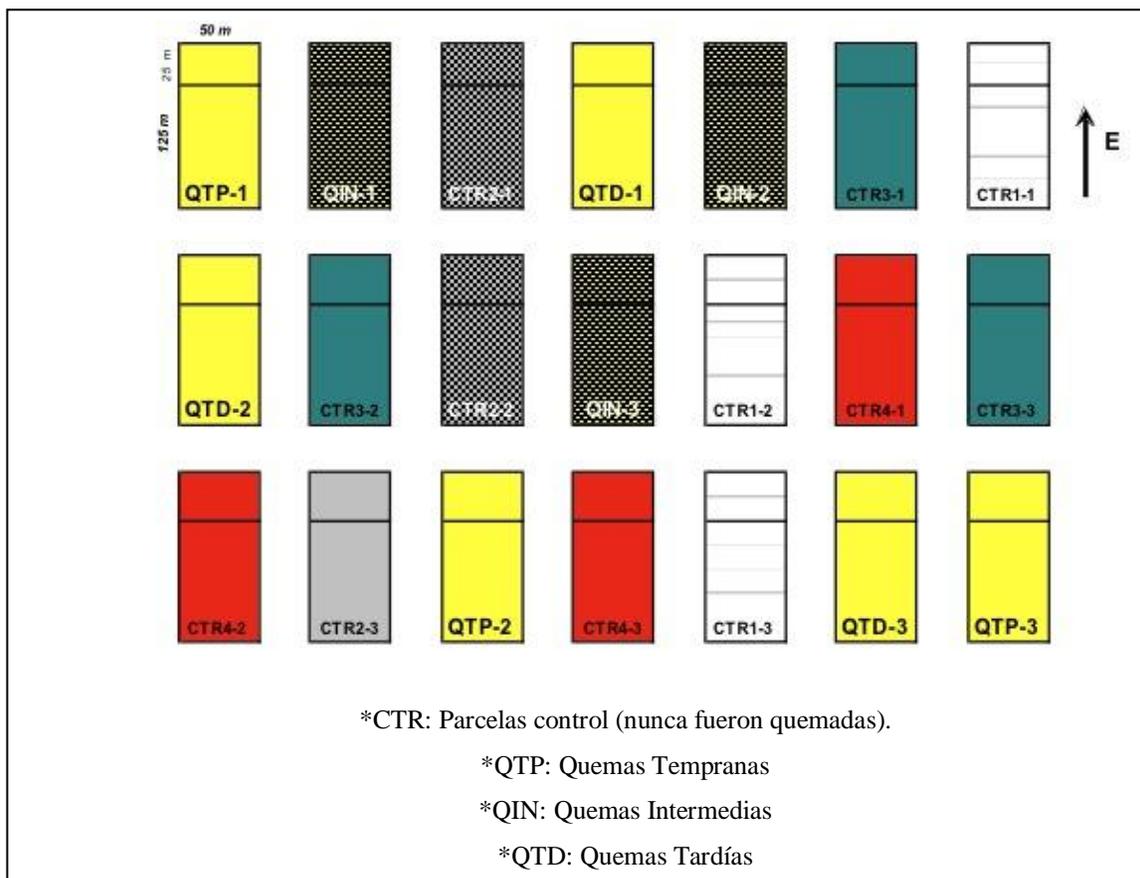
Es importante indicar que el tratamiento QTP corresponde a la quemada realizada en el mes de enero y febrero del año 2000 por lo que sus condiciones ambientales se encontraban en plena época de sequía, mientras que la QIN se llevó a cabo en el mes de

marzo y abril del año 2000 que corresponde al período de finales de la época de sequía principios de la época de lluvias.

Así mismo es importante recalcar que Bilbao *et al* (2010) indican que, en el año 1996 se produjo la última quema para la zona de estudio, por lo que las quemas realizadas en el año 2000, tenían 4 años de haber excluido el fuego respectivamente.



**Figura 6.** Mosaico de sabana- bosque en Guayana, Venezuela (Tomado de Bilbao *et al*, 2010).



**Figura 7:** Distribución de las parcelas experimentales.



**Figura 8.** Vista aérea de las parcelas experimentales (Tomado de Bilbao *et al*, 2010).

En cada una de las parcelas experimentales, se tomaron muestras de suelo, en los primeros 5 cm del perfil, antes y en varios días consecutivos después de haberlas quemado. Para ello fue utilizado un barreno. De igual forma se colectaron muestras en las parcelas control sin quemar. Luego estas muestras fueron transportadas a la Universidad Simón Bolívar (USB), donde se dejaron secar al aire, y posteriormente fueron pasadas por un tamiz de 2mm, y finalmente fueron preservadas en bolsas film hasta el momento de realizarse los análisis químicos para la determinación de los macronutrientes y micronutrientes de estos suelos sometidos a quema.

#### **4.2- Metodología de los análisis químicos para la determinación de la concentración de nutrientes en el suelo**

Para la determinación de macronutrientes (C, N, Mg, P, K, y Ca) y micronutrientes (Na) en estos suelos sometidos a quemas, se siguieron las siguientes metodologías.

##### **4.2.1- Determinación de la concentración de Carbono Orgánico Total.**

###### **Reactivos**

- Dicromato de Potasio 5% ( $K_2CrO_7$ ).
- Cloruro de Bario 4% ( $BaCl_2$ ).
- Acido Sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).

## **Análisis químico**

Para esta determinación se siguió el método de Walkley Black (1947), inicialmente se pesó 1g de suelo y se colocó en un tubo de digestión, luego se añadió 2 mL de agua destilada y 10 ml de Dicromato de potasio al 5% y después 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, con 2 perlas de ebullición para evitar que se derrame al calentar. Se colocó el tubo dentro del bloque digestor a 150° C entre 30- 45 minutos, una vez consumido el tiempo se dejó enfriar, para seguidamente agregar 5 mL de cloruro de bario al 4% el cual formó un precipitado, a este se le añadió 45 mL de agua destilada y se agitó. En un tubo de centrifuga de 15 mL, se agregó 10 mL de esta solución y se colocó en una centrifugadora a 3000 rpm durante 5 minutos, y luego se midió la absorbancia en un espectrofotómetro modelo UV-160. De igual forma se preparó una curva de calibración.

### ***4.2.2- Determinación de la concentración de Nitrógeno Total.***

#### **Reactivos**

- Acido Sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ).
- Hidróxido de Sodio 30% (NaOH).
- Acido Bórico 1% ( $H_3BO_3$ ).
- Rojo de Metilo.
- Verde de Bromocresol.
- Acido Clorhídrico 0.01N (HCl).

## **Análisis químico**

Siguiendo del método Kjendahl, modificado de Jackson (1976), se programó una rampa de calentamiento entre 90° y 350° C. Se colocó en un tubo de digestión 100 mg de muestra de suelo, adicionalmente se añadió una pequeña porción de catalizador de selenio y luego se agregó 2 mL de agua destilada más 3 mL de acido sulfúrico, con 2 perlas de ebullición dentro del tubo para evitar salpicaduras. Se calentó la muestra durante 2h hasta los 350°C. Terminado este tiempo se retiraron del bloque digestor y se dejó enfriar por 10 minutos. Finalmente se midió la concentración de nitrógeno disponible en las soluciones de la digestión a través del equipo FOSS TECATOR KJELTEC 2300.

#### ***4.2.3- Determinación de la concentración de Fósforo disponible (Murphy – Riley).***

##### **Reactivos**

- Molibdato de amonio.
- Acido ascórbico.
- Tartrato de antimonio y potasio.
- Bicarbonato de Sodio.

##### **Análisis químico**

Este método colorimétrico fue desarrollado por Murphy y Riley (1962), inicialmente se realizó una extracción de las muestras de suelo con bicarbonato de sodio 5N, la cual se agitó durante 1 hora, luego se tomó una alícuota de 1 mL del extracto y se colocó en un tubo de ensayo, se añadió el molibdato, el ácido ascórbico y el tartrato de antimonio y potasio. Se esperó alrededor de 1 a 2 horas para obtener el color azul característico de la formación del complejo deseado y finalmente se determinó la concentración con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 712nm modelo UV-160.

#### ***4.2.4- Determinación de la concentración de Na, Mg, K, Ca disponibles.***

##### **Reactivos:**

- Acetato de amonio 1M.
- Solución multi-elemental de *Na, Mg, K, y Ca*.

##### **Análisis químico**

Para ello se siguió un procedimiento de extracción sobre 2g de muestras de suelo, usando 20 mL de una solución de acetato de amonio 1M, y colocada en tubos de centrifuga con agitación constante durante 1h, luego se filtró a través de un papel de filtro #42 y se colocó en un balón de 50 mL. Posteriormente al residuo se le volvió añadir 20 mL de acetato de amonio pero esta vez se agitó durante 30 minutos, se filtró y se aforó el balón a 50 mL. Finalmente se midió en un equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer A: Analyst 200, luego de preparar la respectiva curva de calibración.

### **4.3- Tratamiento Estadístico de los datos**

Se realizaron gráficos de box plot para revisar la variabilidad de los datos usando el programa sigma plot, y un análisis de ANOVA de doble vía para determinar los efectos de las dos fuentes de variación (tiempo con respecto a la quema y tratamiento de quema QTP y QIN). Este análisis estadístico se realizó usando el programa Statistics. Además se realizaron análisis a posteriori TukeyHSD considerando aquellas diferencias significativas con nivel de significancia de 0,05, y por último, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el programa MVSP para observar la variabilidad existente y las tendencias entre las parcelas control y las parcelas sometidas a quema en los diferentes tiempos de colecta previos y después de la quema.

## 5- RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los análisis químicos de los suelos detallados en el capítulo anterior.

### 5.1- Análisis químicos

Los procesos químicos, físicos y biológicos a los que son expuestos los suelos varían espacial y temporalmente haciendo más complejo al sistema afectando sus propiedades. En el caso de la quema la magnitud de estos cambios en el suelo depende de los efectos directos e indirectos producidos por el fuego. Siendo los efectos directos producidos por el calentamiento del suelo y depositación de las cenizas, mientras que los efectos indirectos son consecuencia de los cambios temporales que sufre la biota, vegetación y el microclima del suelo por la acción del fuego. En el presente trabajo se quiere observar si en las muestras analizadas correspondientes al año 2000 presentan un efecto directo posterior al fuego y si existen variabilidades de acuerdo con su distribución en el tiempo y en que tratamientos es más marcado dichas diferencias (QTP y QIN) con respecto a las CTROL (Control).

#### 5.1.1- Carbono Orgánico Total (COT)

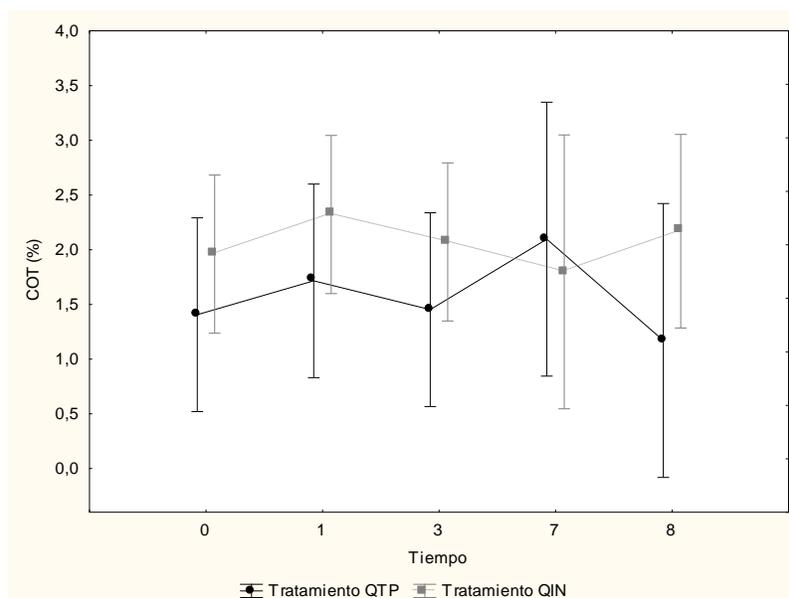
Los resultados de los análisis químicos realizados del COT de los diferentes tratamientos de quema considerados en este estudio se presentan en las Tabla 2, Apéndice 10.1.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica del COT del suelo en los días posteriores a la quema.

La primera observación se refiere a la gran heterogeneidad en cuanto a la concentración de COT de los suelos en las condiciones de sabana estudiados. Así, la gráfica resultante del análisis de ANOVA para COT (Gráfico 1, ver Tabla 3, Apéndice 10.2 para más detalle) que muestra los dos factores (tiempo y tratamiento) y la variable dependiente COT, indica que si bien existe una tendencia a incrementar los valores de concentración de COT al primer día (T1) con respecto a T0 (antes de la quema) en los tratamientos QTP y QIN, y al séptimo

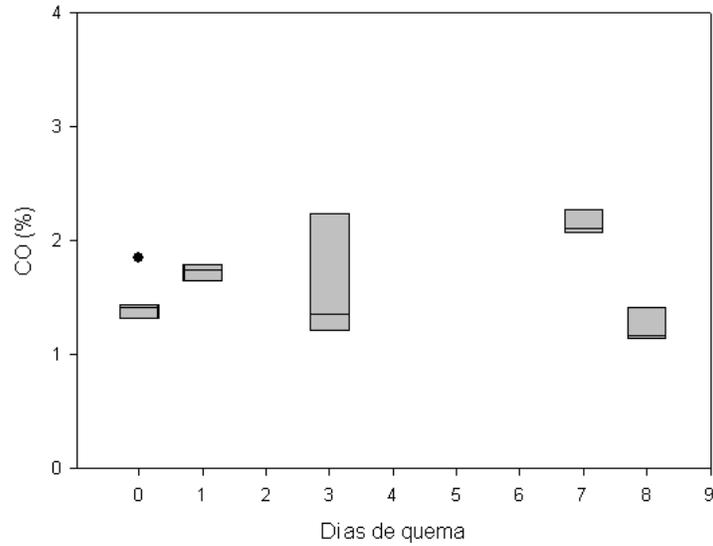
día en QTP, la alta variabilidad de los valores de concentración de COT encontrados revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre la condición de prequema (T0), los días consecutivos durante la post-quema (T1, T3, T7 y T8), y entre los tratamientos QTP y QIN (Gráfico 1). En este caso no pareciera haber un aporte ni una pérdida de COT al sistema después de las quemas en ninguno de los tratamientos. Basado en lo anterior no es necesario hacer la prueba posteriori ya que todas las medias son iguales.

Esta alta variabilidad en el contenido de COT puede también observarse en los gráficos box-plots (gráficos 2 y 3), mostrando una mayor dispersión y asimetría de los datos en el tratamiento QIN (gráfico 3). Estas gráficas indican así mismo que el promedio de la concentración de COT en el tratamiento CTROL (1,85%), se encuentra en concentraciones superiores al CTROL y no se encuentra en el rango de variación de los valores de T0 (prequema) de QTP (1,41%) pero si en el de QIN (1,96%, gráficos 2 y 3).

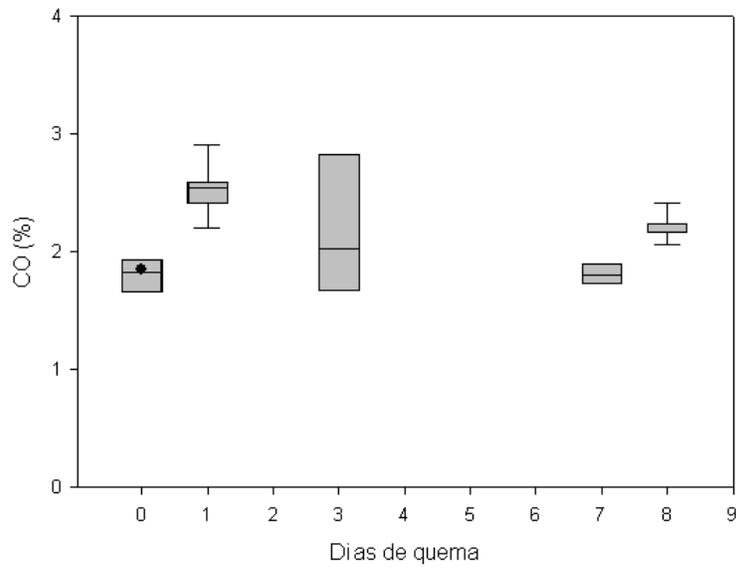


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 1:** ANOVA de Carbono Orgánico Total (COT).



**Gráfico 2:** Concentración de COT en el tratamiento QTP (● Tratamiento CTROL).



**Gráfico 3:** Concentración de COT en el tratamiento QIN (● Tratamiento CTROL).

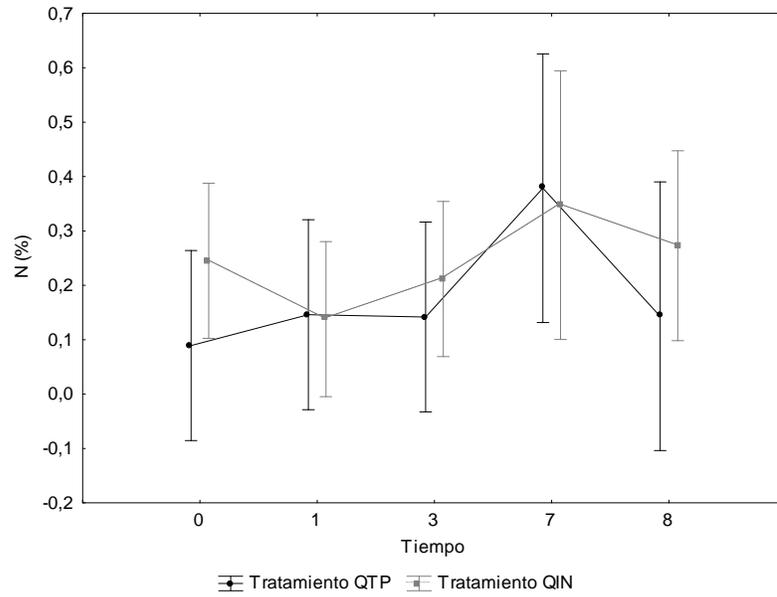
### 5.1.2- Nitrógeno Total

Otro de los parámetros evaluados fue la concentración del N total de los suelos. En la Tabla 2 ubicadas en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de N, para cada uno de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica de N total del suelo en los días posteriores a la quema.

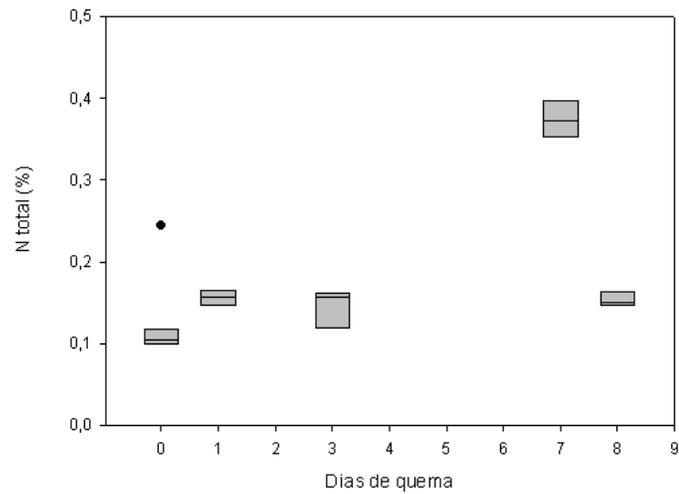
Al igual que en el caso anterior, los resultados indican una gran heterogeneidad en cuanto a la concentración de N total en los suelos bajos los diferentes tratamientos y tiempo. Así, el gráfico correspondiente al análisis de ANOVA indica que si bien para ambos tratamientos (QTP y QIN) existe una tendencia en cuanto al incremento entre el 60 y 80% de la concentración de N al séptimo día (T7) con respecto al T0 (previo a la quema), y un posterior descenso al octavo día, estas diferencias no resultan estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ , Tabla 4, Apéndice 10.2). De acuerdo a esto no existe ni ganancias ni pérdidas en la concentración de N total del suelo en el tiempo por efecto de la quema. Basado en lo anterior no es necesario hacer la prueba posteriori ya que todas las medias son iguales (Gráfico 4).

Similarmente, esta alta variabilidad en el contenido de N total puede también observarse en los gráficos box-plots (Gráficos 5 y 6), mostrando una mayor dispersión y asimetría de los datos en el tratamiento QIN (gráfico 6). Estas gráficas indican así mismo que el valor promedio de la concentración de N total en el tratamiento CTROL (0,24%), no se encuentra en el rango de variación de los valores de T0 (prequema) de QTP (0,09%), sin embargo si se encuentra en el rango de variación correspondiente al tratamiento QIN.

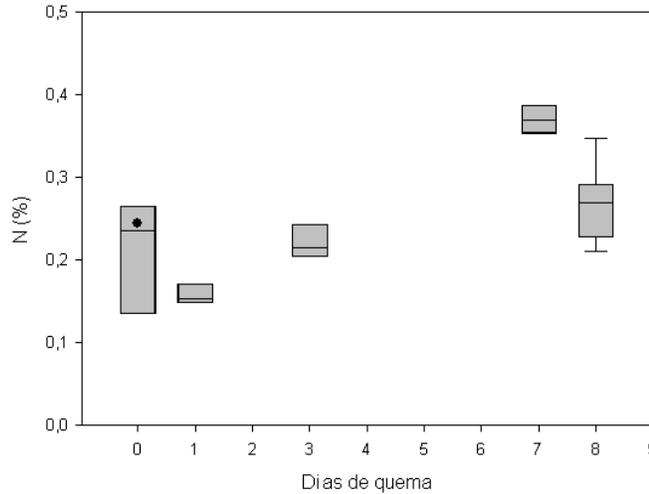


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 4:** ANOVA de N total.



**Gráfico 5:** Concentración de N total en el tratamiento QTP (● Tratamiento CTROL).



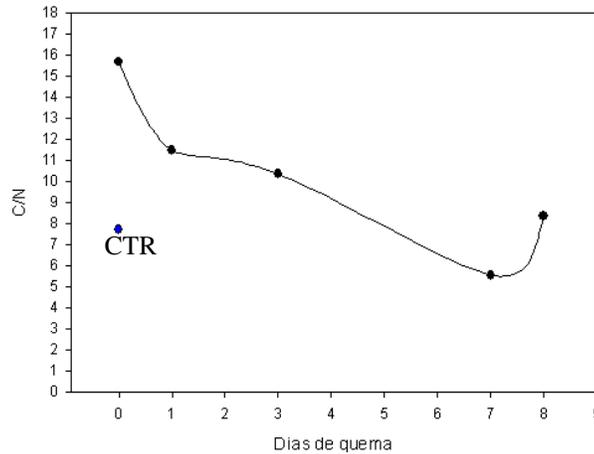
**Gráfico 6:** Concentración de N total en el tratamiento QIN ( ● Tratamiento CTROL).

### 5.1.3- Relación C/N

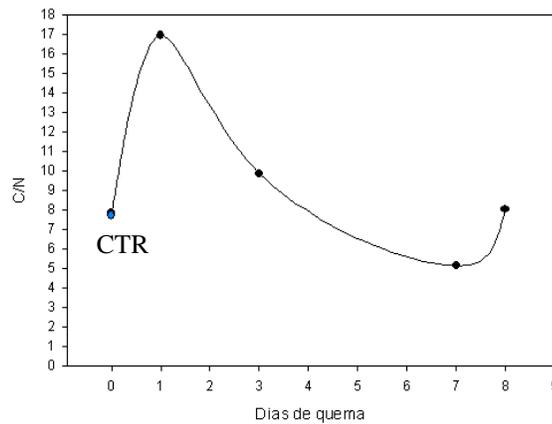
Otro de los parámetros evaluados fue la relación C/N. Los resultados obtenidos en cuanto a la estimación de este parámetro, en los tratamientos CTR, QTP y QIN correspondientes al año 2000, pueden observarse en la Tabla 2, en el Apéndice 10.1, de este trabajo.

Así mismo, en los gráficos 7 y 8 muestran las tendencias en el tiempo después de la quema de la relación C/N para los dos tratamientos QTP y QIN, y su comparación con el tratamiento control. En los gráficos 7 y 8, pueden observarse que similarmente a lo hallado con respecto a la concentración de COT y N total, existe una diferencia en la relación de C/N entre los valores control y QTP para el T0 (7,71 y 15,67 respectivamente), mientras que en el QIN estos valores resultan muy similares (7,71 y 7,84 respectivamente).

Estos gráficos (7 y 8) muestran así mismo una tendencia similar de disminución del valor de C/N desde la prequema en QTP (15,67) y desde T1 en QIN (16,93) hasta el séptimo día (5,53 y 5,14 respectivamente), momento en el cual comienza una recuperación de C/N en el octavo día (8,36 y 8,04 respectivamente). El T1 en el tratamiento QIN presenta un fuerte incremento con respecto a la condición prequema, relacionada con la fuerte pérdida de N de suelo observada después de la quema en este tratamiento (Gráfico 8).



**Grafico 7:** Distribución de la relación C/N en el tratamiento QTP



**Grafico 8:** Distribución de la relación C/N en el tratamiento QIN

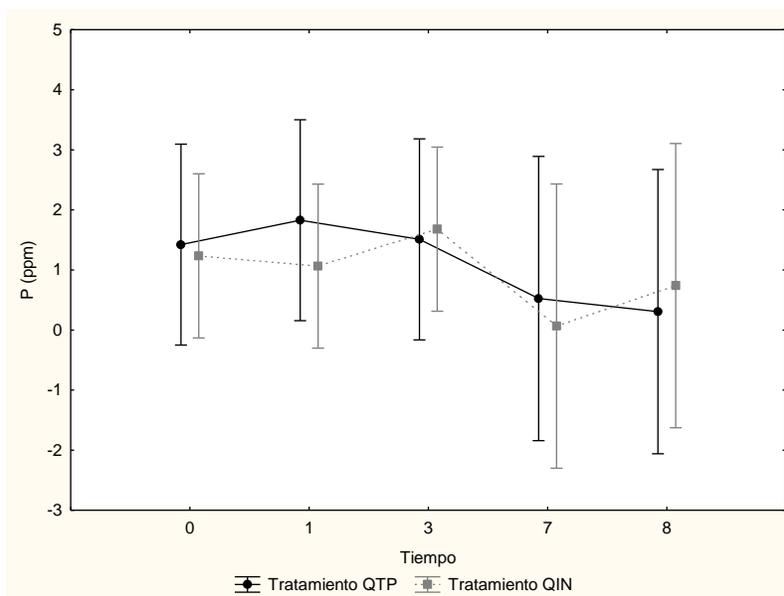
#### **5.1.4- Fósforo disponible.**

Otro de los elementos importantes como nutriente para las plantas es el P. En las Tabla 2 ubicadas en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de P disponible, para cada una de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica del P disponible del suelo en los días posteriores a la quema.

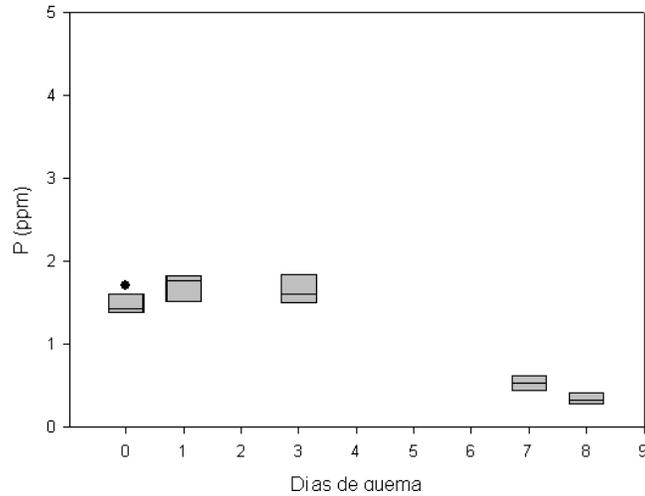
Similarmente a los casos anteriores, los resultados indican una gran heterogeneidad en cuanto a la concentración de P disponible en los suelos en los diferentes tratamientos y tiempo de colecta. Así, el gráfico correspondiente al análisis de ANOVA (Gráfico 9) indica que si bien para ambos tratamientos (QTP y QIN) existe una tendencia a disminuir entre el séptimo y el octavo día el 80 y 95%, respectivamente, en la concentración de P disponible al T0 (prequema), estas diferencias no resultan estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ , Tabla 5, Apéndice 10.2). De acuerdo a esto no existe ni ganancias ni pérdidas en el tiempo, en la concentración del P disponible del suelo por efecto de la quema. Basado en lo anterior no es necesario hacer la prueba a posteriori ya que todas las medias son iguales.

Igualmente, esta alta variabilidad en el contenido de P disponible puede también observarse en los gráficos box-plots (Gráficos 10 y 11), mostrando una mayor dispersión y asimetría de los datos en el tratamiento QIN. Estas gráficas indican así mismo que el valor promedio de concentración de P disponible en el tratamiento CTROL (1,70 ppm), no se encuentra en el rango de variación de los valores de T0 (prequema) de QTP y QIN, ya que en ambos tratamientos la concentración de P disponible en T0 es inferior (1,42 y 1,24 ppm respectivamente) al tratamiento CTROL (Gráficos 10 y 11).

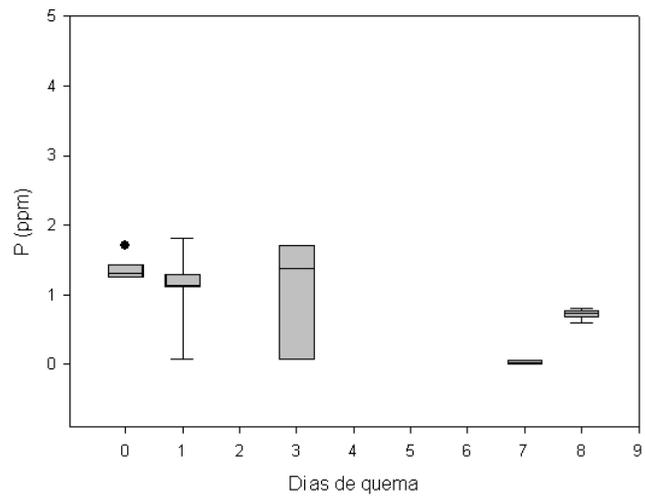


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 9:** ANOVA de P disponible.



**Gráfico 10:** Concentración de P en el tratamiento QTP (● Tratamiento CTRL).



**Gráfico 11:** Concentración de P en el tratamiento QIN (● Tratamiento CTRL).

### 5.1.5- Cationes

Los elementos como Na, Mg, K y Ca son de vital importancia para este estudio ya que los cationes tienen influencia en las propiedades físico-químicas del suelo (especialmente en la acidez), y en la nutrición y crecimiento de las plantas.

#### 5.1.5.1- Sodio

Debido a la gran acidez que presentan los suelos de la región, resulta importante determinar el efecto de la quema sobre la disponibilidad de este nutriente en el suelo. En la

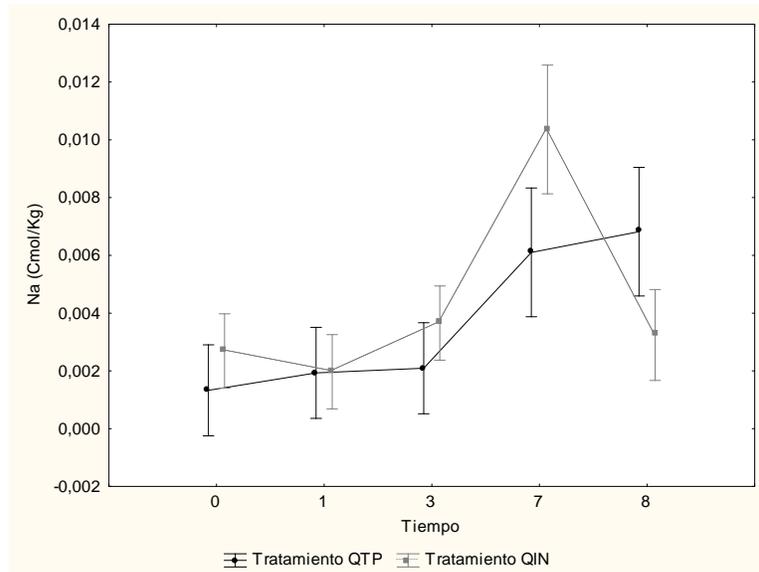
Tabla 2 ubicada en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de Na, para cada una de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica de Na del suelo en los días posteriores a la quema.

A diferencia de los casos anteriores, la variabilidad de este nutriente en los suelos resultó menor, por lo que las tendencias en cuanto al comportamiento de las concentraciones de Na en el suelo después de la quema fueron estadísticamente significativas. Así los resultados del análisis de la ANOVA (Tabla 6, Apéndice 10.2) indican que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) por efecto del tiempo después de la quema, mientras que en los tratamientos no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Estos resultados indican que hubo una incorporación estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de Na en el tiempo, de forma similar para ambos tratamientos (QTP y QIN). Basado en lo anterior se realizó la prueba posteriori (Tabla 7, Apéndice 10.2) ya que las medias entre los diferentes tiempos fueron distintas. El resultado arrojado indica que el día 0, 1 y 3 fueron iguales entre si, con similares concentraciones de Na antes y después de la quema, mientras que en el 7mo día aparece una depositación entre el 70 y 80% superior al T0, estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de este nutriente en ambos tratamientos (gráfica 12).

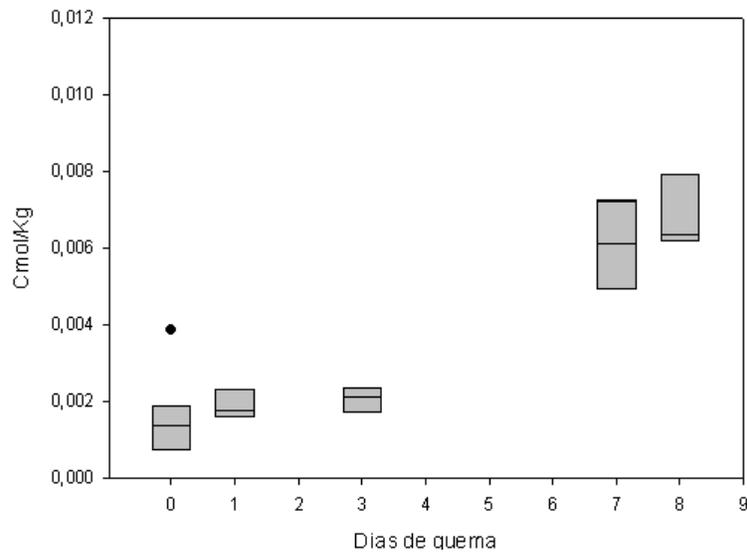
Los dos depositan por igual pero la única diferencia visible es que la concentración de Na se mantiene en QTP, mientras que en QIN disminuye.

Los gráfico box-plots (gráficos 13 y 14) muestran en general una mayor simetría y menor dispersión de los datos que en los casos anteriores, con excepción de la etapa de prequema del tratamiento QIN, el cual presenta una menor simetría y presencia de bigotes. Por otro lado, estos gráficos indican que la concentración de Na en los suelos del tratamiento Control (0,004 Cmol/Kg) estuvo por encima de los suelos del tratamiento QTP (0,001 Cmol/Kg) en condición prequema, y dentro del rango de variación de esa misma condición (0,003 Cmol/Kg) bajo el tratamiento QIN.

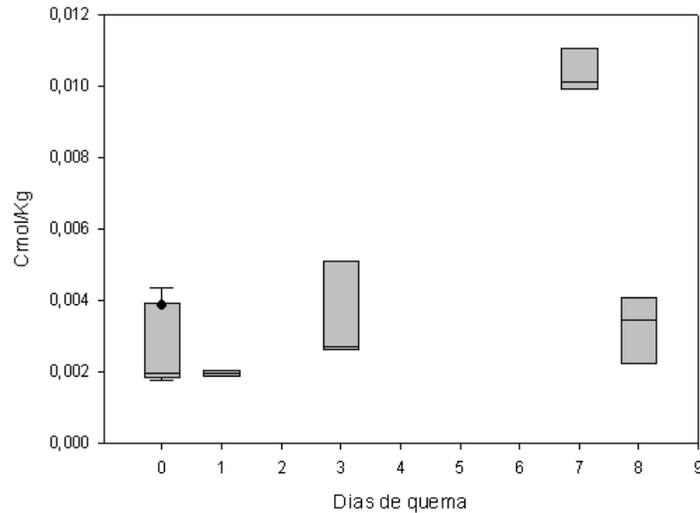


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 12:** ANOVA de Sodio.



**Gráfico 13:** Concentración de Na en el tratamiento QTP ( ● Tratamiento CTROL).



**Gráfico 14:** Concentración de Na en el tratamiento QIN ( ●Tratamiento CTROL).

### 5.1.5.2- *Magnesio*

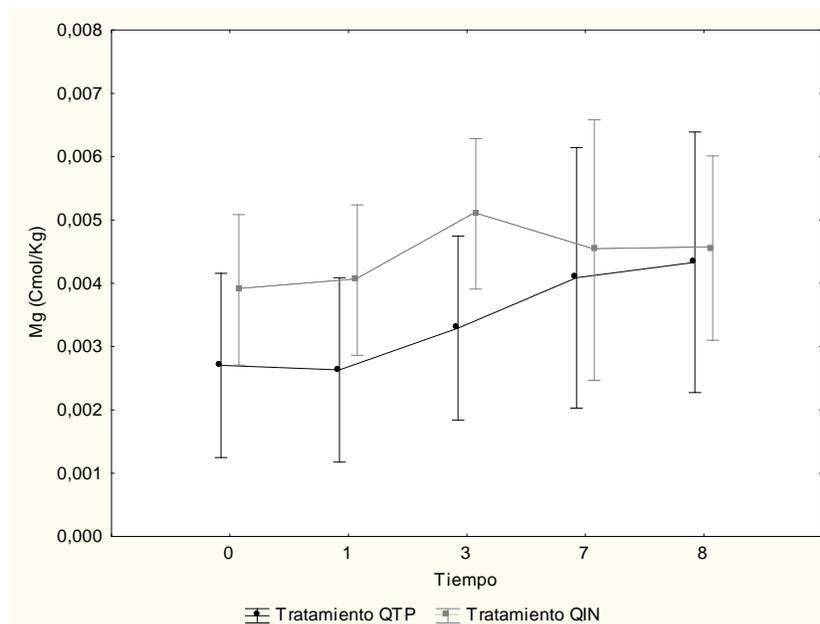
Otro de los elementos importantes como nutriente para las plantas es el Mg. En la Tabla 2 ubicada en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de Mg, para cada uno de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica de Mg del suelo en los días posteriores a la quema.

Similarmente a los casos de COT, N total y P disponible, el análisis ANOVA para Mg (Gráfico 15) muestra que a pesar de existir una tendencia a incrementar las concentraciones de Mg con el tiempo, no existen diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de cada tratamiento y tiempo de colecta, ni interacción entre ambas (Tabla 8, Apéndice 10.2). En este caso no hay aporte de Mg al sistema después de las quemas en ninguno de los tratamientos por ende los dos son iguales en el transcurso del tiempo. Basado en lo anterior no es necesario hacer la prueba posteriori ya que todas las medias son iguales.

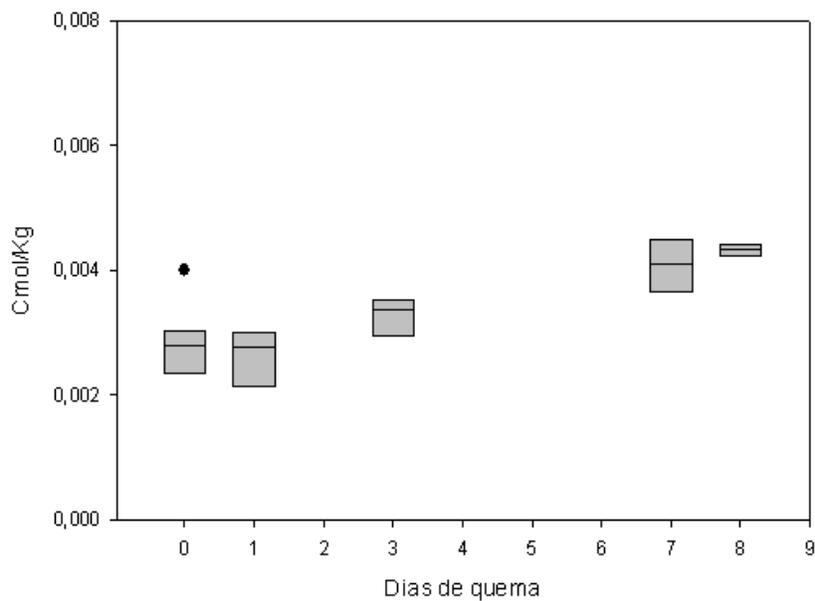
Igualmente, la alta variabilidad en el contenido de Mg se puede observar en los gráficos box-plots (gráficos 16 y 17) mostrando una mayor dispersión y asimetría de los datos en el

tratamiento QIN. Estas gráficas indican así mismo que la media de la concentración de Mg en el tratamiento CTROL (0,004 Cmol/Kg) no se encuentra en el rango de variación de T0 (prequema) de QTP (0,003 Cmol/Kg) pero si en el de QIN (0,004 Cmol/Kg).

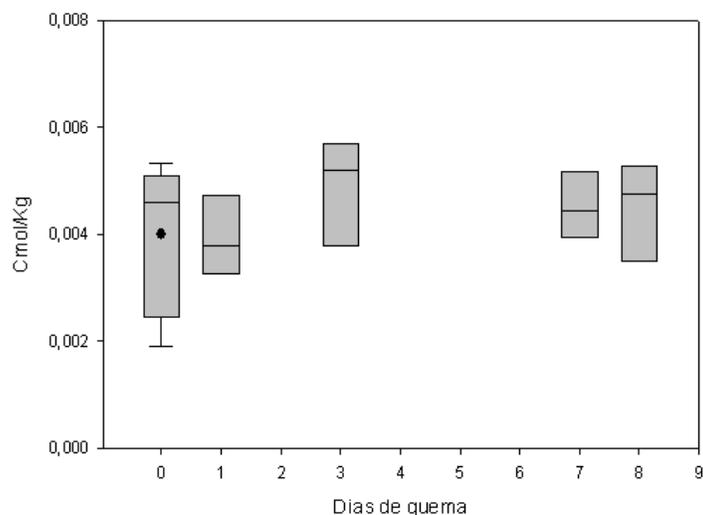


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 15:** ANOVA de Mg.



**Gráfico 16:** Concentración de Mg en el tratamiento QTP ( ● Tratamiento CTROL).



**Gráfico 17:** Concentración de Mg en el tratamiento QIN ( ● Tratamiento CTROL).

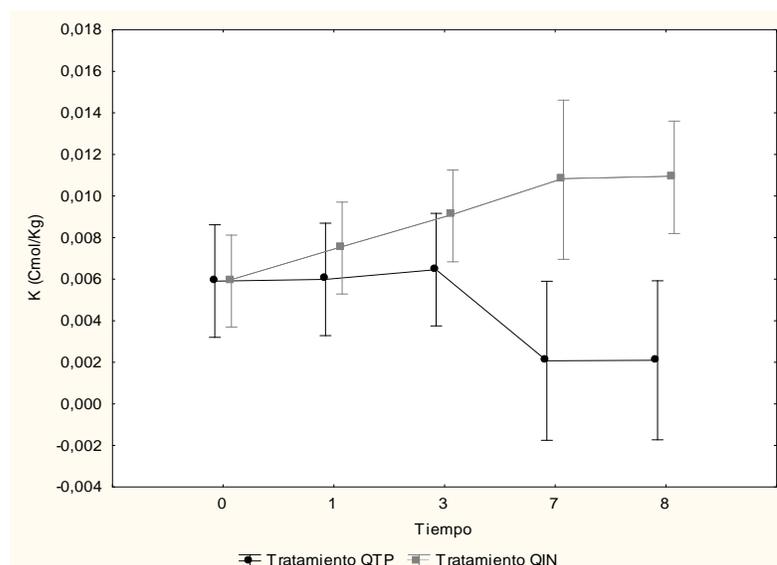
### 5.1.5.3- Potasio

Otro de los elementos importantes como nutriente para las plantas es el K. En la Tabla 2 ubicadas en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de K, para cada uno de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica de K del suelo en los días posteriores a la quema.

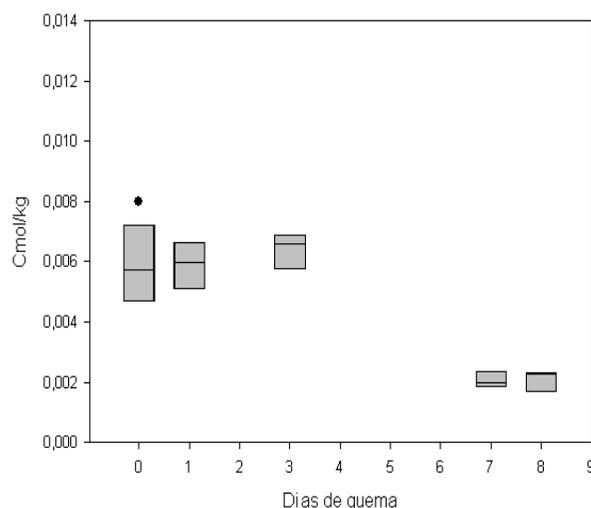
El gráfico 18 muestra los resultados del análisis de ANOVA en cuanto a la comparación de los valores de la concentración de K en el tiempo antes y después de la quema bajo los tratamientos QTP y QIN. De acuerdo a los resultados de este análisis (Tabla 9, Apéndice 10.2) existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las concentraciones de K de los suelos entre los diferentes tratamientos y la interacción entre ambas (QIN y QTP). Basado en lo anterior se realizó la prueba a posteriori (Tabla 10, Apéndice 10.2) ya que las medias fueron diferentes. Los resultados de la prueba muestran que si bien dentro de los tiempos no hay diferencias estadísticamente significativas, entre los tratamientos si las hay. Así las concentraciones de K en los suelos se mantuvieron iguales sin ninguna tendencia en ninguno de los dos tratamientos, sin embargo las concentraciones de K fueron superiores en QIN 7 y 8, con respecto a QTP 7 y 8 (gráfico 18).

Igualmente a los casos anteriores, los gráficos 19 y 20 de box-plots señalan una mayor dispersión y asimetría de los datos en el tratamiento QIN con respecto al contenido de K que en QTP. De esta manera, la media de la concentración de K en CTROL (0,008 Cmol/Kg) se encuentra en el intervalo de variación de QIN en T0 (0,006 Cmol/Kg). Si bien esta última concentración es igual al T0 (prequema) de QTP (0,006 Cmol/Kg), la menor variabilidad en la concentración de K de las muestras del suelo de esta colecta, hace que queden en un rango inferior de variación que CTROL.

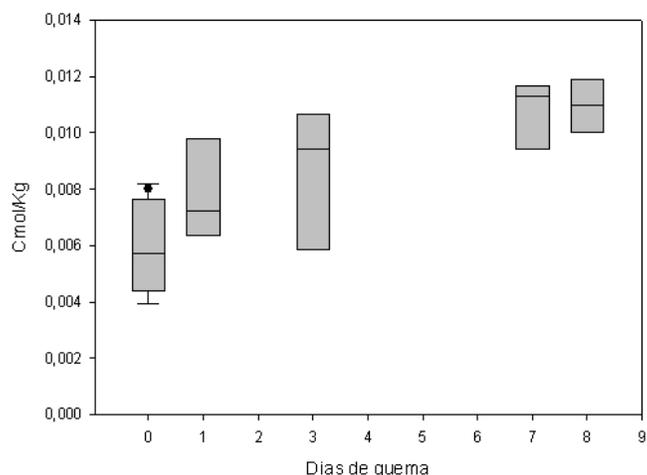


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 18:** ANOVA de K.



**Gráfico 19:** Concentración de K en el tratamiento QTP ( ● Tratamiento CTROL).



**Gráfico 20:** Concentración de K en el tratamiento QIN (● Tratamiento CTROL).

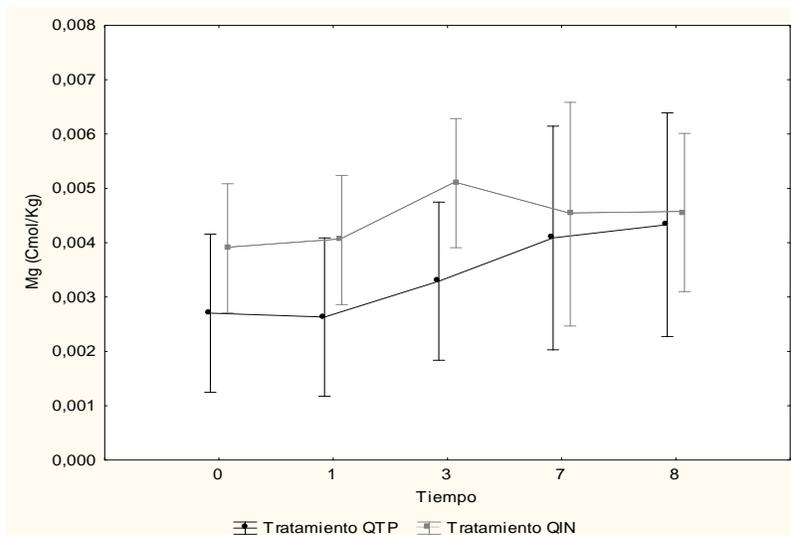
#### 5.1.5.4- Calcio

Otro de los elementos importantes como nutriente para las plantas es el Ca. En la Tabla 2 ubicadas en el Apéndice 10.1 de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de Ca, para cada uno de los tratamientos en el experimento de quema.

Para contribuir a la interpretación de los resultados se realizaron gráficas con los resultados de la ANOVA y Box-plot, en las cuales puede observarse la dinámica de Ca del suelo en los días posteriores a la quema.

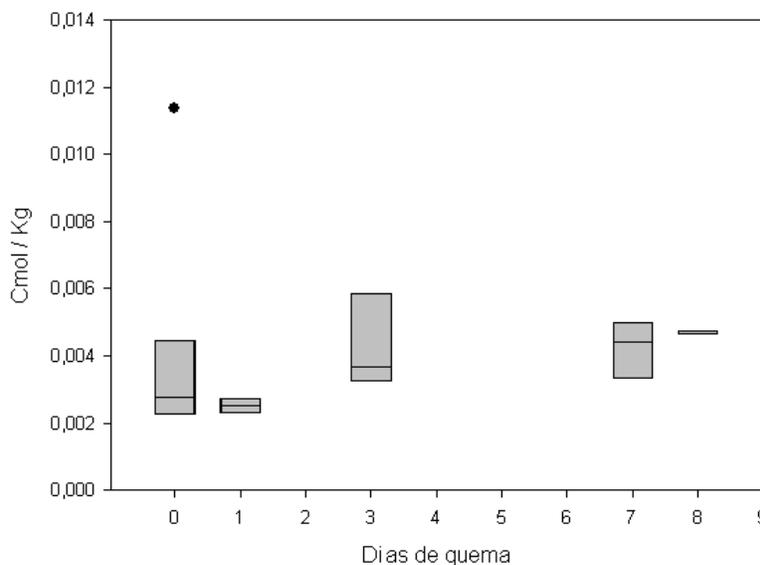
Los intervalos de confianza estimados a partir del análisis ANOVA para determinar el efecto de los factores (tiempo y tratamiento) sobre la variable dependiente Ca en el suelo (Gráfico 21 y Tabla 11, Apéndice 10.2) indican que no hay diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre las medias de la concentraciones de Ca en el suelo en las diferentes colectas después de las quemas, ni entre tratamientos (y tampoco la interacción entre ambos factores). Así, según este análisis no existe aporte ni pérdida de Ca del sistema después de las quemas en ninguno de los dos tratamientos (QIN y QTP) y como se observa en el gráfico 21 no se observa ninguna tendencia considerable tanto para el QTP como para el QIN. Basado en lo anterior no es necesario hacer la prueba posteriori ya que todas las medias son iguales.

Igualmente, la alta variabilidad en el contenido de Ca de los suelos puede observarse en los gráficos box-plots (gráficos 22 y 23) mostrando una mayor dispersión y asimetría de los datos en el tratamiento QIN. Estas gráficas indican así mismo que la media de los valores de concentración de Ca en el tratamiento CTROL (0,011 Cmol/Kg) se encuentra por encima del rango de variación de T0 (prequema) en QTP (0,002 Cmol/Kg) y en QIN (0,004 Cmol/Kg).

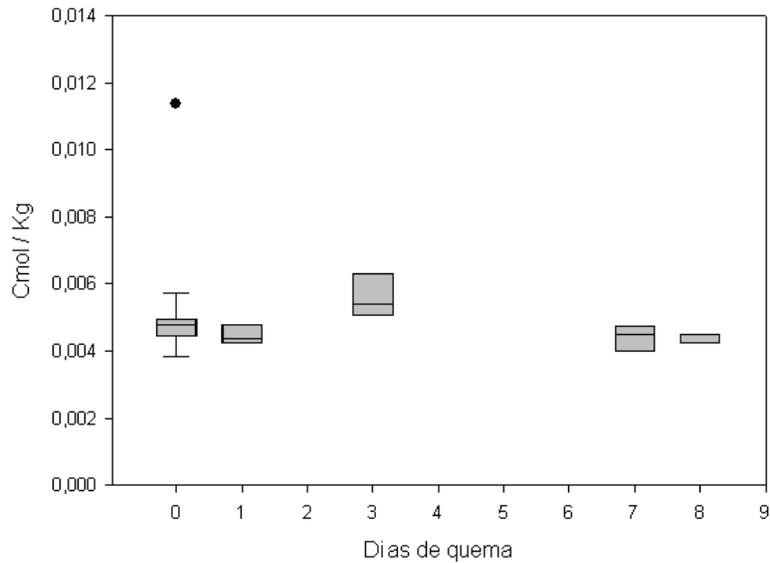


\*Intervalo de confianza de 0,95%

**Gráfico 21:** ANOVA de Ca.



**Gráfico 22:** Concentración de Ca en el tratamiento QTP (● Tratamiento CTROL).

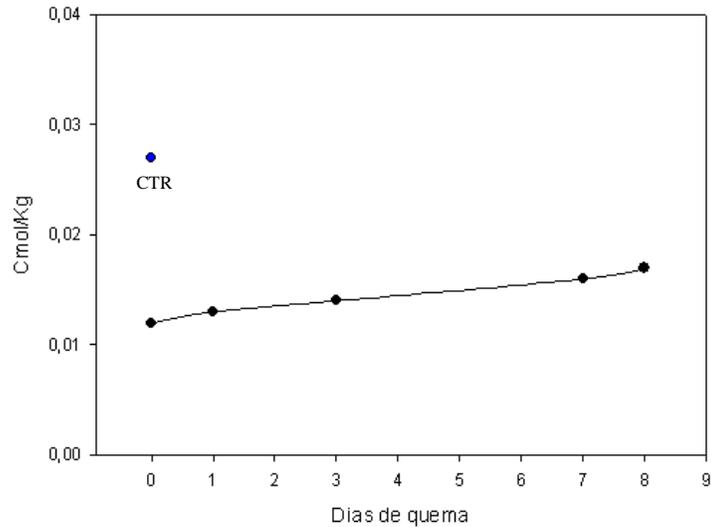


**Gráfico 23:** Concentración de Ca en el tratamiento QIN ( ● Tratamiento CTROL).

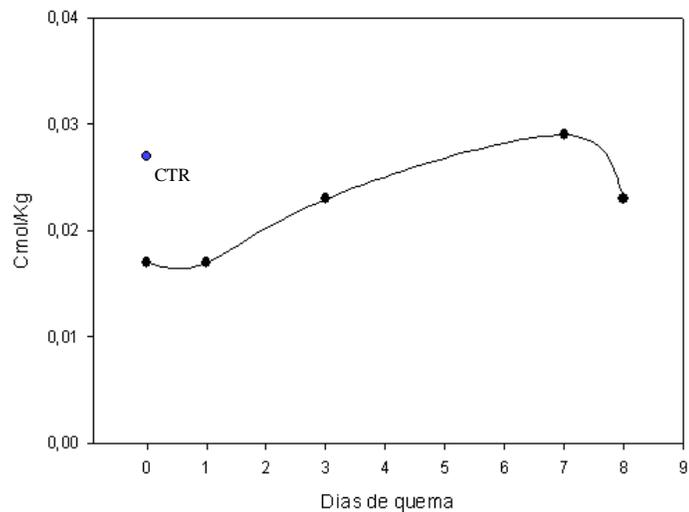
#### 5.1.5.5- Suma de cationes

Otro de los parámetros importantes es la suma de cationes. En la Tabla 2 ubicadas en el Apéndice I (10.1) de este trabajo, se muestran los resultados obtenidos en cuanto al contenido de la suma de cationes, para cada una de las muestras colectadas en el experimento de quema en el año 2000.

Como se observa en el tratamiento QTP (Gráfico 24) la distribución de los cationes básicos en la etapa prequema es de 0,012 Cmol/Kg mientras que el tratamiento control posee 0,027 Cmol/Kg por lo que se encuentra muy por debajo. Sin embargo después de la quema al primer día se observa una concentración de 0,013 Cmol/Kg el cual va aumentando gradualmente hasta alcanzar 0,016 Cmol/kg a la semana, el cual al octavo día sigue aumentando a 0,017 Cmol/Kg. Por otro lado, en el tratamiento QIN (Gráfico 25) inicialmente se observa una concentración de 0,017 Cmol/Kg el cual está muy por debajo que el tratamiento control. Después de la quema al primer día se mantiene a 0,017 Cmol/Kg que posteriormente aumenta a 0,029 Cmol/Kg donde se observa que hay una máxima reincorporación de estos cationes al sistema al séptimo día, luego disminuye al octavo día a 0,023 Cmol/Kg por lo que no hay un aporte extra después de la semana que colabore con la incorporación de estos elementos al sistema.



**Grafico 24:** Distribución de Cationes en el tratamiento QTP



**Grafico 25:** Distribución de Cationes en el tratamiento QIN

## 5.2- Análisis de Componentes Principales (ACP)

Por último, se presentan los resultados obtenidos en el Análisis de Componentes Principales (ACP). Ante un banco de datos con muchas variables, como es el caso de este estudio, esta técnica sintetiza la información, reduciendo la dimensionalidad a un menor número de variables, perdiendo la menor cantidad de información posible, y reteniendo aquellas características del conjunto de datos que contribuyen más a su varianza. El ACP construye una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el

conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es recogida en el primer eje (llamado el Primer Componente Principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje, y así sucesivamente. Estos componentes principales o factores serán, además independientes entre sí, de tal forma que puedan agruparse de acuerdo a los objetivos del trabajo. Así, en síntesis esta técnica permite, hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por importancia.

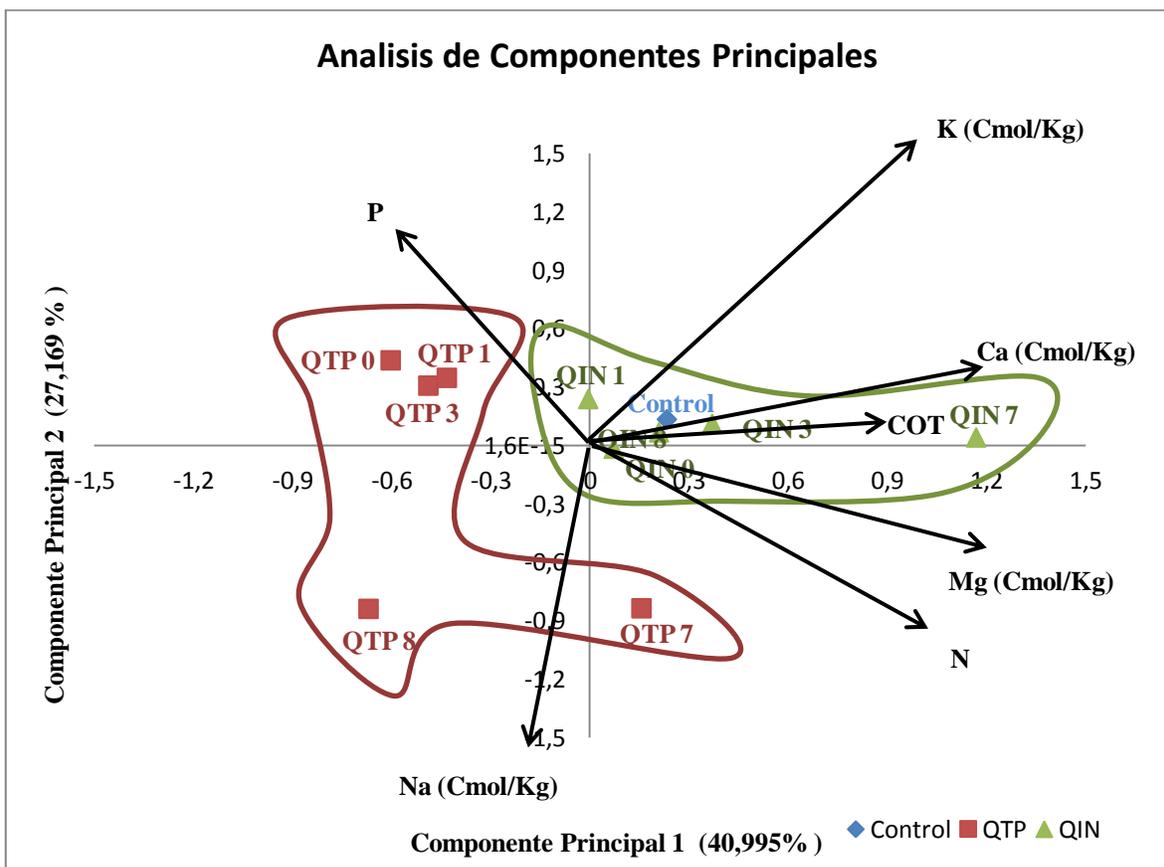
En el gráfico 26, pueden observarse los resultados del análisis de ordenación usando componentes principales, los cuales explican en conjunto el 68,16 % de la variabilidad original (40,99% y 27,16% del componente 1 y 2 respectivamente). El primero de ellos mostró una alta correlación con un número mayor de variables con respecto al segundo componente (Tabla 12. Apéndice 10.3).

Con excepción del efecto de la quema sobre la concentración de Na y de K, el análisis univariado indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) en la mayoría de las tendencias encontradas (aún cuando existieron cambios superiores al 70% en la concentración de nutrientes con respecto a las condiciones previas a la quema). Sin embargo el análisis multivariado indica que si existe una interacción entre todas las variables estudiadas generando diferencias en los diferentes tratamientos y tiempos de medición antes y después de la quema (Tabla 12. Apéndice 10.3).

Como se observa en las gráficas de Na y K (Gráfico 12 y 18 respectivamente), los intervalos de confianza del análisis univariado (ANOVA), señalan que éstos elementos presentarán variaciones estadísticamente diferentes por efecto de la quema. En el caso del Na este efecto fue positivo, mostrando un incremento a los 7 días después de la quema, y negativo para el caso del K. El análisis multivariado (Gráfico 26) sustenta estos resultados, observándose un comportamiento inversamente proporcional (si aumenta Na disminuye K y viceversa). De acuerdo al análisis, esto quiere decir además, que el QIN tiende a acumular más K después de la quema que QTP y a su vez esta última, muestra una tendencia a acumular más Na que K. En esta gráfica se observa además que en los tiempos iniciales hay mayor P que N, y en los últimos estadios hay mayor concentración de COT, N, Ca y Mg. Efectivamente, a pesar de que el estudio individual realizado elemento por elemento, solo muestra que hay diferencia significativas en el Na y K, el análisis

multivariado permite observar el sistema completo con sus respectivas interacciones (puesto que todos los elementos en sistemas naturales interactúan unos con otros, conformando un sistema complejo).

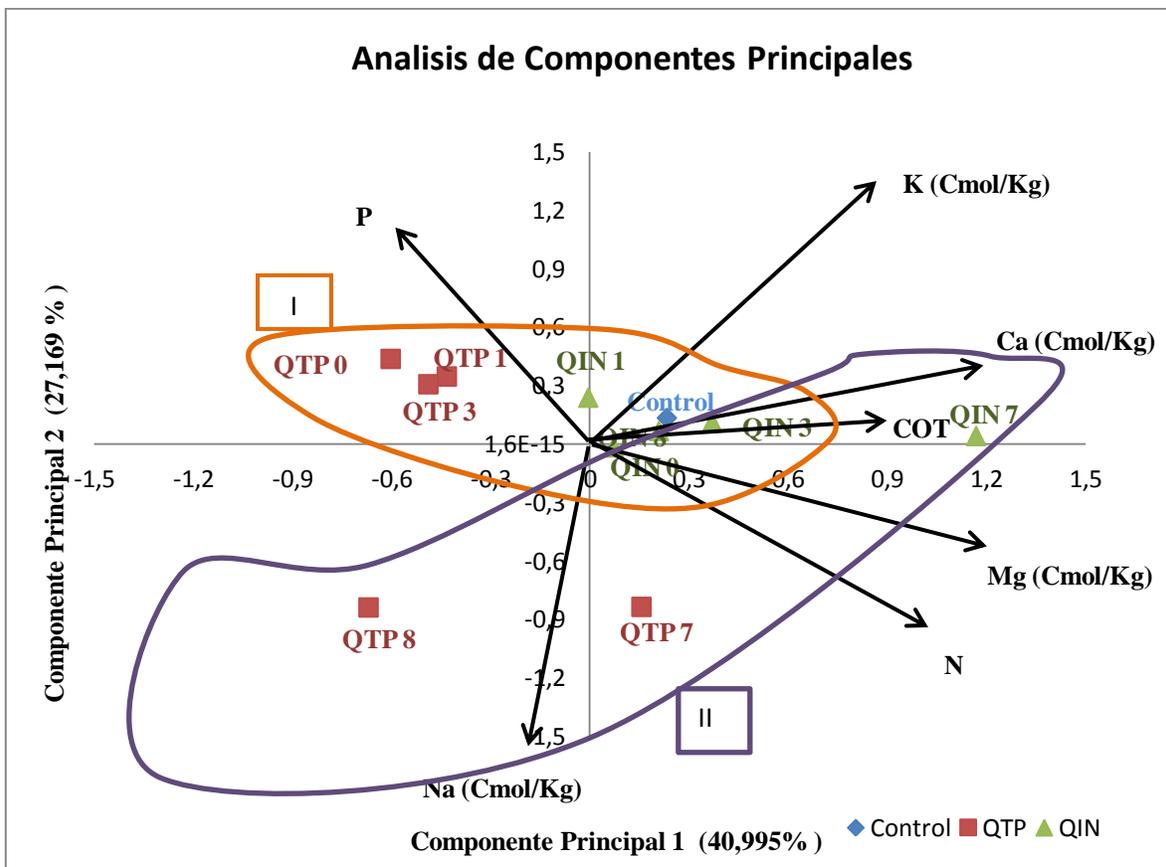
El análisis de componentes principales define, así mismo, un patrón en el cual la nube correspondiente al tratamiento QTP posee mayores concentraciones de Na y P, mientras que el tratamiento QIN tiene mayores concentraciones de K, Ca, COT y Mg (el N aporta igual para ambos tratamientos).



**Gráfico 26:** Análisis de Componentes Principales y la distribución de elementos.

Adicionalmente en el Gráfico 27 se indica lo que sucede en el espacio temporal y es interesante observar que independientemente de que los dos tratamientos QTP y QIN sean diferentes, en los primeros tiempos (T0, T1 y T3) se encuentran próximos, con concentraciones de nutrientes similares al tratamiento CTRL (Grupo I). Este análisis revela una sucesión temporal o cambio progresivo hacia T7 y T8 (Grupo II), en el cual se

produce un incremento en las concentraciones de COT, Na, Mg, y Ca. Así mismo, se distingue, una zona de transición (QIN 8) entre las etapas tempranas y tardías de ambos tratamientos, caracterizado por una pérdida de P y una ganancia de N con respecto al QIN 7. Por otro lado, QTP 8 presenta menores concentraciones de COT, N, Mg K y Ca y mayores concentraciones de P que QTP 7, indicando una reducción de la mayoría de los nutrientes al octavo día luego de alcanzar el máximo de concentración.



**Gráfico 27:** Análisis de Componentes Principales (ACP) y distribución de grupos.

## 6- DISCUSION

A continuación se presenta la discusión de los resultados obtenidos en cuanto al efecto de la quema sobre el contenido de los macronutrientes (COT, N total, Mg, P disponible, K y Ca) y micronutrientes (Na) en el suelos.

### **6.1- Carbono Orgánico Total (COT)**

Los valores de concentración de COT presentes en los suelos de las sabanas estudiados (CTROL 1,85%, QTP 1,17- 2,10% y QIN 1,8 – 2,54%) coinciden parcialmente con el rango de valores (solo las concentraciones mayores) de COT 2,09- 2,57% COT), reportadas por Dezzeo (1994), para otras sabanas tropicales de la región de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela. Esta autora considera que estas bajas concentraciones de COT son producto del limitado reciclaje del material orgánico con respecto a los bosques, y trae como consecuencia una disminución de la materia orgánica (MO) del suelo (humus). Es decir, en las sabanas no solo desaparece el mantillo orgánico característico de la vegetación leñosa, sino que también disminuye el contenido de C (%) en los horizontes minerales del suelo (Dezzeo, 1994). Por otro lado, Dezzeo *et al.*, (2004) encontró valores superficiales de COT (%) en la Gran Sabana, que tendían a disminuir con el aumento de la profundidad (2,83- 1,08%) y que también se encuentran en el rango de concentración hallados en este trabajo en todos los tratamientos. Estas concentraciones mostradas por Dezzeo *et al.*, (2004) fueron superiores a los reportados para los suelos de las tierras bajas en el Amazonas (0,8 a 1,8% para el C) (Mackensen *et al.*, 2000, citado por Dezzeo *et al.*, (2004)). Estos autores atribuyen este aumento de C en los suelos del área de estudio debido a un efecto de la baja actividad microbiana. Sin embargo, los valores encontrados en este trabajo concuerdan también con los observados en el Amazonas (el rango inferior sin quema), indicando la alta pobreza intrínseca de los suelos de sabana en la Gran Sabana.

El gráfico 1 muestra los resultados del análisis de ANOVA realizado para la comparación de medias de COT obtenidas de las muestras colectadas en distintos tiempos después de la quema para los tratamientos QTP Y QIN, la cual indica que si bien existe una tendencia a aumentar el COT después de la quema en ambos tratamientos, no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre ninguna de las medias, siendo las tendencias

observadas producto del azar. Sin embargo la alta variabilidad en el contenido de COT entre las diferentes muestras de suelo, como se observó en los gráficos de box plots (gráficos 2 y 3 respectivamente), pudo haber sido la causa de que a pesar de existir una tendencia positiva a acumular COT después del fuego, las mismas no hayan sido significativas. Esto último pudo corroborarse en el análisis de componentes principales en el cual se observó que la variable COT, es una variable importante que contribuye con el componente principal 1 (Tabla 12, Apéndice 10.3).

Diversos estudios muestran que los efectos del fuego pueden ser diferentes sobre el COT del suelo así como la acción de los factores que contribuyen con la dinámica del COT en el suelo después de las quemadas.

Bilbao (1995) detectó incrementos en el porcentaje de materia orgánica del suelo por efecto de la quema de 1992 en todos los tratamientos. Donde sostiene que el aumento en los niveles de materia orgánica en el suelo después del fuego se debe a la incorporación de fragmentos de carbono más que a un incremento en el humus. También considera que la incorporación de necromasa o residuos de carbono orgánico en las cenizas es suficiente para compensar las pérdidas de C por combustión del humus. Por su parte, Bilbao, *et al* (2012) indica que las sabanas se caracterizan por ser uno de los ecosistemas tropicales que presentan los menores contenidos de CO en los suelos. Sin embargo, la literatura muestra que el fuego resulta un factor controversial con respecto a su efecto en la acumulación de materia orgánica del suelo. Así a pesar que el proceso de combustión produce la pérdida de C por la volatilización de CO<sub>2</sub>, una combustión incompleta del material combustible por quemadas de baja intensidad podría favorecer los procesos de descomposición y degradación de la biomasa resultando en mayores aportes de materia orgánica al suelo (Medina y Silva, 1990; Bilbao, 1995). Basado en lo anterior, el incremento de COT pareciera estar asociado a los procesos de depositación directa y descomposición de la biomasa que crece en el suelo.

La quema de la biomasa libera principalmente agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxido nítrico, amoníaco, gases de azufre, cloruro de metilo, hidrógeno, ozono troposférico, carbono elemental y material particulado atmosférico a la atmósfera. Sin embargo, los residuos de biomasa carbonizados que se depositan en el suelo actúan

como reservorios de nutrientes en los ecosistemas afectados por el fuego, debido a que sólo se queman superficialmente y liberan gradualmente los nutrientes mediante descomposición. El contenido de carbono orgánico, así como el resto de los nutrientes disponibles en el suelo después de la quema, dependerá del comportamiento del fuego (intensidad, tiempo de residencia, eficiencia de quema, cantidad de material combustible (biomasa), cantidad de material muerto, y las variables meteorológicas durante la propagación del fuego). Así mismo, existen otros factores que favorecen la conducción de calor a través del suelo, que afectan el contenido de la materia orgánica del suelo. Por ejemplo Casanova (2005) hace énfasis en que la mayor parte del calor que se mueve en el suelo es por conducción (intercambio de energía térmica entre átomos o moléculas adyacentes) es por esta razón que en suelos de la Gran Sabana el fuego producto de la quema puede transmitir el calor 10 veces más rápido en comparación en un clima seco, lo que promueve la evaporación y volatilización de especies hasta alcanzar una temperatura constante.

Por otro lado, Caon *et al*, (2014) indica que la interacción entre los diferentes conductores y factores que propagan el fuego resulta en procesos como la liberación de nutrientes de la vegetación quemada, así como cambios en la forma de nutrientes (es decir, formación de un carbón negro y las formas de nutrientes recalcitrantes), la volatilización de nutrientes y la pérdida de estos por lixiviación, transporte por el viento de la ceniza y / o la erosión del suelo. En el caso del carbono, este se puede convertir en carbono negro (CN) y carbón vegetal, formas recalcitrantes de carbono altamente resistentes a la descomposición microbológica y química.

## **6.2- Nitrógeno total**

Los valores de concentración de N presentes en los suelos de las sabanas estudiados (CTROL 0,24%, QTP 0,09- 0,38% y QIN 0,15- 0,35%), coinciden parcialmente con el rango de valores de N (0,12- 0,38% N), reportadas por Dezzeo (1994), para otras sabanas tropicales de la región de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela. Por su parte, Medina y Bilbao (1991), trabajaron en varias sabanas de Venezuela específicamente en las sabanas de Cojedes (1,1- 1,4% N), Anzoátegui (0,06- 1,8% N), Bolívar (0,7% N) y Monagas (0,7% N), donde los valores de concentración de N presentes en las sabanas estudiados coinciden con

los encontrados en las sabanas de Anzoátegui para el tratamiento CTROL, QTP y QIN donde se puede observar que son las concentraciones más bajas reportadas en la literatura.

El gráfico 4 muestra los resultados del análisis de ANOVA realizado para la comparación de medias de N total obtenidas de las muestras colectadas en distintos tiempos después de la quema para los tratamientos QTP Y QIN , indica que si bien existe una tendencia a aumentar el N después de la quema en ambos tratamientos, no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre ninguna de las medias, indicando que las tendencias observadas podrían ser producto del azar. Sin embargo la alta variabilidad en el contenido de N entre las diferentes muestras de suelo, como se observó en los gráficos de box plots (gráficos 5 y 6 respectivamente), pudo haber sido la causa de que a pesar de existir una tendencia positiva a acumular N después del fuego, las mismas no hayan sido significativas. Esto último pudo corroborarse en el análisis de componentes principales en el cual se observó que la variable N, es una variable importante que contribuye con el componente principal 1 (Tabla 12, Apéndice 10.3), teniendo una tendencia donde aporta igual tanto para el tratamiento QTP como para el QIN.

Como se mencionó anteriormente, la fuente de N en el suelo es la materia orgánica y el sistema radical de la planta puede absorber el N en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) o por fijación simbiótica y no simbiótica del N atmosférico (Casanova. 2005). Este autor señala que el amonio en el suelo puede ser fijado en posición inter-laminar en las arcillas, absorbido en las cargas negativas de la materia orgánica en forma intercambiable, o puede perderse por erosión del suelo o por la volatilización en forma de  $\text{NH}_3$  (gas) (Casanova. 2005).

Casanova (2005) hace énfasis en que en el sistema el balance de N en el suelo (en relación entre pérdidas y ganancias) depende mucho de lo que ocurra con la planta. Por otra parte los nitratos son aniones, que no son retenidos en posiciones de intercambio y pueden perderse por lavado hacia profundidades en el suelo donde no son aprovechados por las raíces de las plantas.

Caon *et al* (2014) señalan así mismo que el nitrógeno en el suelo puede estar presente en las formas orgánicas e inorgánicas y estar disponible o no para las plantas. Los

procesos biológicos, condiciones climáticas y el tipo de suelo influyen en la cantidad y la forma en la que el nitrógeno está presente en el suelo. Aunque la disposición de la fracción de nitrógeno en la planta es sólo un pequeño porcentaje del total de nitrógeno en el suelo, es el más importante para el crecimiento de plantas a corto plazo. Después de un incendio, el contenido de N del suelo suele ser muy variable debido a la heterogeneidad espacial en la severidad del fuego y de las pérdidas de N durante la quema.

También señalan que, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo influye en la capacidad de recuperación de los ecosistemas, este elemento en un suelo pobre como los de la Gran Sabana compromete la restauración de estas áreas después de un incendio, ya que puede limitar el crecimiento de la planta. El N después de los incendios forestales se pierde por lixiviación, erosión del suelo, la escorrentía y la volatilización. Aunque el fuego aumenta el contenido de nitrógeno disponible en el suelo en el corto plazo, la hidrólisis puede disminuir la cantidad hidrolizable en el suelo tal es el caso de los resultados obtenidos para este elemento. Debido a la alteración del ciclo N, la capacidad de la vegetación para recuperarse después de un incendio puede disminuir en el largo plazo. Es por ello que en trabajos previos como el de Interacción Atmosfera- Biosfera y Proyecto Riesgo concluyeron que en estos mismos tratamientos, si y solo si se puede volver a quemar cuando la biomasa superará los valores de  $600 \text{ g/m}^2$  y que era alcanzada cada cuatro años (Caon *et al* 2014).

Por su parte, Caon *et al* (2014) indica que, la presencia de nitrógeno inorgánico en el suelo se relaciona con procesos de nitrificación y mineralización, que se ven afectados por la temperatura del suelo, la aireación y pH. El contenido de nitrato, nitrito y amonio después de un incendio en el suelo independientemente del tipo de vegetación, reportan concentraciones significativamente mayor de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en el horizonte O inmediatamente después de un incendio (Temperaturas de  $100^\circ \text{C}$ ). Por su parte estos autores señalan que la concentración de N mineral es muy baja en las cenizas justo después del fuego, mientras que la concentración de amonio muestra un aumento significativo a los meses, seguido por un aumento en la concentración de nitratos en el futuro, a su vez la severidad del fuego aumenta la concentración de  $\text{NH}_4^+$  en las cenizas, mientras que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  disminuye. Finalmente recalcan que, a corto y largo plazo los

aumentos en  $\text{NH}_4^+$ , así como en  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  contenidos tanto en el horizonte O como en el A del suelo pueden estar relacionados con la depositación de cenizas y el alto potencial de nitrificación del suelo quemado, en comparación con el suelo sin quemar. (Caon *et al.*, 2014). Tal como se señala en varios de estos estudios, a pesar de los procesos de volatilización del N están asociados a la combustión de biomasa por la quema, existe una incorporación de N inmediatamente después del fuego. Estudios a largo plazo como el del experimento, permitirán indicar las tendencias a mediano y largo plazo en la concentración de este nutriente.

### **6.3- Relación C/N**

Como se menciona en el Gráfico 7 el tratamiento QTP muestra una relación C/N en la etapa prequema de 15,67 aproximadamente, esto indica que hay mayor contenido de carbono orgánico que N, sin embargo, después de la quema se observa una disminución gradual de la relación C/N hasta el séptimo día de 5,53, indicando la degradación de la materia orgánica después de la quema y la consecuente liberación de N al suelo. Esto ocurre hasta el octavo día cuando la relación C/N vuelve a aumentar a 8,36, indicando una utilización del N, ya sea por las plantas o los micro-organismos del suelo, o la pérdida de este del sistema (como se observa en el Gráfico 4). El tratamiento QIN (Gráfico 8), por el contrario, presenta una baja relación C/N de 7,84 en condiciones prequema, comparado con QTP, indicando una menor disponibilidad de COT que N total. Esta relación cambia al segundo día después de la quema aumentando a 16,93, indicando la mayor disponibilidad de carbono orgánico, con respecto al N (la quema afectó positivamente la acumulación de COT en el suelo), y luego va disminuyendo hasta alcanzar un valor de 5,14 al séptimo día (similar al tratamiento QTP). Esto podría indicar que el sistema volvió al equilibrio donde libera una concentración de N que beneficia tanto a los microorganismos como a las plantas. Al igual que en el tratamiento QTP, después al octavo día se observa un incremento en la relación a 8,04.

Macintosh, *et al* (2005), en estudios sobre el papel de la pérdida de nutrientes por incendios en la génesis de los suelos de los bosques de Tasmania y el sur de Nueva Zelanda, determinaron que la relación C/N en los horizontes A1 en el bosque seco de Tasmania era de 28.5, por lo que es considerablemente mayor que la relación C/N del

horizonte A1 en el bosque húmedo de Tasmania de 14.9 y que esta relación es idéntico al horizonte A1 de los suelos de Nueva Zelanda (14.9), llegando a la conclusión de que la relación C/N de 28.5 representaba una baja disponibilidad de N, mientras que para la relación C/N de 14.9 indica una alta disponibilidad de N, indicando que mientras más alta sea la relación C/N habrá más problemas de disponibilidad de N del suelo, donde los organismos al tener mucho alimento energético (carbono) incrementan el consumo de N del suelo para su propio desarrollo provocando deficiencias en las plantas.

#### **6.4- Fósforo disponible**

Los valores de P presentes en los suelos de las sabanas estudiados (CTROL 1,7 ppm, QTP 1,83- 0,31 ppm y QIN 1,68- 0,06 ppm), se encuentran en un intervalo inferior a los reportados por Medina y Bilbao (1991) quienes trabajaron en suelos de sabanas de los Llanos de Cojedes (2,9-5,0 ppm), Anzoátegui (2,4- 5,3ppm), Bolívar (2,9) y Monagas (1,7- 2,2 ppm). Sin embargo coinciden con los encontrados en las sabanas de los llanos de Monagas tanto en el CTROL como en los primeros estadios de los tratamientos QTP y QIN. Por otro lado, Dezzeeo *et al.*, (2004) reportan valores entre 1 y 2 ppm en sabanas de la Gran Sabana, similares a los del rango superior a los encontrados en este trabajo. Vale recalcar que las concentraciones por debajo de 1 ppm medidas en las sabanas de estudio, son las más bajas reportadas en la literatura consultada.

El gráfico 9 muestra los resultados del análisis de ANOVA realizado para la comparación de medias de P disponible obtenidas de las muestras colectadas en distintos tiempos después de la quema para los tratamientos QTP Y QIN , indica que si bien existe una tendencia a disminuir el P después de la quema en ambos tratamientos, no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre ninguna de las medias, indicando que las tendencias observadas podrían ser producto del azar. Sin embargo, la alta variabilidad en el contenido de P entre las diferentes muestras de suelo, como se observó en los gráficos de box plots (gráficos 10 y 11, respectivamente), pudo haber sido la causa de que a pesar de existir una tendencia negativa en las concentraciones de P después del fuego, las mismas no hayan sido significativas. Esto último pudo corroborarse en el análisis de componentes principales en el cual se observó que la variable P disponible, es una variable importante que contribuye con el componente principal 2 (Tabla 12, Apéndice 10.3). La formación de

complejos con el Ca de la ceniza o con Al o Fe en los suelos pudo haber reducido la fracción de P soluble en estos suelos después de la quema (Bilbao, 1995). Por su parte la pérdida por lixiviación es muy reducida ya que los iones de ortofosfato (que pueden ser incluso liberados por las cenizas al suelo) son fuertemente adsorbidos por constituyentes inorgánicos del suelo tales como los minerales de arcilla, óxidos de Fe y Al o absorbidos por las raíces de las plantas (López-Hernández, 1977; Marion y Black, 1988, citado por Bilbao, 1995).

Casanova (2005), establece que la presencia de P es fundamental en los procesos de floración y fructificación de las plantas, incluyendo la formación de semillas y el desarrollo de raíces, y debido a su efecto en la división celular, la deficiencia de P en las plantas se manifiesta en un poco crecimiento, retardo en la madurez y semillas con bajo porcentaje de germinación. Esto podría explicar porque el proceso de regeneración del sistema en términos de biomasa ocurre tan lento, según lo reportado por Bilbao *et al.* (2010).

Caon, *et al* (2014) señalan que, el P es un factor limitante en el crecimiento de las plantas, ya que la época de sequía puede reducir aún más la cantidad de fósforo que requiere la planta del suelo y por lo tanto afectar la recuperación de la vegetación. Esto no coincide con lo que ocurre en el tratamiento QTP, ya que al realizarse la quema en plena época de sequia (enero- febrero 2000) el análisis de componentes principales indica que hay mayor disponibilidad de este elemento en comparación con el tratamiento QIN, cuya quema se realizó a finales de la época de sequía- principios de la época de lluvia, aunque en ambos casos se consiguen las concentraciones más bajas reportadas en la literatura.

### **6.5- Cationes**

Los valores de los cationes presentes en los suelos de las sabanas estudiados (CTROL 0,004 Cmol/Kg, QTP 0,001- 0,007 Cmol/Kg y QIN 0,002- 0,01 Cmol/kg para Na, CTROL 0,004 Cmol/Kg, QTP 0,003- 0,004 Cmol/Kg y QIN 0,004- 0,005 Cmol/Kg para Mg, CTROL 0,008 Cmol/Kg, QTP 0,002- 0,006 Cmol/Kg y QIN 0,006- 0,01 Cmol/Kg para K y CTROL 0,011 Cmol/Kg, QTP 0,002- 0,004 Cmol/Kg y QIN 0,004- 0,005 Cmol/Kg para Ca), no se encuentran en el rango de valores de otras sabanas tropicales de Guayana, (Estado Bolívar, Venezuela) comprendidos entre 0,03- 0,2 Cmol Mg/kg, 0,05- 0,1 Cmol

K/Kg y 0,04- 0,2 Cmol Ca/kg, aún cuando estos últimos valores de cationes básico en los suelos de sabana son de por sí muy bajos (Dezzeo, 1994). No obstante, Dezzeo *et al.*, (2004) encuentra en sabanas de la Gran Sabana concentraciones de cationes que disminuyen con la profundidad (Mg alrededor de 0,026- 0,007 Cmol/Kg, K alrededor de 0,05- 0,02 Cmol/Kg y Ca alrededor de 0,02- 0,01 Cmol/kg). Vale recalcar que, las concentraciones de este trabajo tampoco entran en el rango de los valores reportados por Dezzeo *et al.*, (2004), por lo que hay que considerar que son las concentraciones más bajas reportados en la literatura consultada.

Por su parte, el análisis ANOVA para Na (Gráfico 12) indica que ciertamente hay una tendencia, que tiene diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) mientras que en los tratamientos no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Esto quiere decir que ambos tratamientos depositan Na por igual pero la única diferencia visible es que el tratamiento QTP se mantiene mientras que QIN baja lo que puede deberse a la lixiviación del Na ya que esta quema se produjo al inicio de la época de lluvias. Y esto concuerda con lo observado en el ACP ya que indica cierta tendencia a enriquecer mas el tratamiento QTP que el QIN.

Por otro lado, el análisis estadístico para Mg (Gráfico 15) muestra que ciertamente no hay una tendencia significativa ( $P > 0,05$ ). En este caso no se observa un efecto de Mg al sistema después de las quemas en ninguno de los tratamientos por ende existe la probabilidad de que ambos tratamientos sean iguales en el transcurso del tiempo. Sin embargo, el Análisis de Componentes Principales muestra que la interacción entre todas las variables independientes (tiempo y tratamiento) con las variables dependientes (COT, N total, P disponible, Na, K y Ca), el Mg tiene una tendencia a aumentar con el tiempo específicamente en el tratamiento QIN.

Sin embargo, el análisis ANOVA para K (Gráfico 18) muestra que ciertamente hay una tendencia que tiene diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) mientras que en el tiempo no hay diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Vale recalcar que el K se mantuvo en el tratamiento QIN mientras que en el QTP salio del sistema. Por ende la quema tuvo un efecto en la disponibilidad de K en el suelo, al igual que el Na. Por su parte, el análisis multivariado corrobora lo anterior, ya que el K tiende a acumularse específicamente mas en el tratamiento QIN que en el QTP.

Por otro lado, el análisis de ANOVA para Ca (Gráfico 21) muestra que no hay diferencias significativas ( $P > 0,05$ ). En este caso no hay un efecto estadísticamente significativo de Ca al sistema después de la quema en ninguno de los tratamientos, por lo que existe la probabilidad de que el aporte de Ca en ambos tratamientos sea igual en el transcurso del tiempo, al igual que en el COT, N total, P disponible y Mg. No obstante, el análisis de componentes principales muestra que el Ca tiene una tendencia a depositarse específicamente en el tratamiento QIN que en el QTP.

Sin embargo, el análisis de componentes principales, muestra una distribución espacial donde interaccionan todas las variables y aunque el análisis univariado no mostró efectos estadísticamente significativos después de la quema, el análisis multivariado sí, donde el K, Ca, COT y Mg tienden a estar en mayor concentración en el tratamiento QIN por lo que hay una selección específica de este tratamiento por esos elementos. Además el N aporta igual para ambos tratamientos, mientras que el QTP tienen una selección también específica por los elementos Na y P probablemente asociado a la estación climática ya que en la época de sequía no hay aporte de los demás cationes a través de las lluvias como sucede en el tratamiento QIN.

La variabilidad de los resultados depende mayormente de la época e intensidad de la quema. Así, quemadas tempranas (QTP) de alta intensidad producen mayor cantidad de cenizas que pueden ser dispersadas por el viento. De tal manera que la disponibilidad de cationes con respecto a la producción de cenizas es baja (Bilbao, 1995). De igual manera la exposición a la lixiviación de cationes del suelo es mayor en las quemadas intermedias (QIN) debido a la cercanía de la época de lluvias, esto explica las bajas concentraciones de cationes en ambos tratamientos.

En otro orden de ideas, el Mg es absorbido en la forma de catión divalente ( $Mg^{+2}$ ) y es el único elemento que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que la deficiencia de Mg implica una insuficiencia de clorofila y una disminución del proceso fotosintético (Casanova, 2005). El Mg es un elemento móvil en las plantas, por lo que es translocado con facilidad en las hojas maduras a las jóvenes. Además explica que generalmente en las semillas se encuentran cantidades apreciables de Mg y se sabe que este elemento está asociado con el metabolismo del P y es importante en la activación de varios sistemas

enzimáticos en las plantas. Aunque el análisis univariado no mostró un efecto evidente en el aporte de Mg al sistema, el ACP si, donde se observa como interacciona este elemento con las demás variables, tendiendo a estar en mayores concentraciones en el tratamiento QIN que en el QTP. Sin embargo, las concentraciones son muy bajas por lo que, lo antes mencionado promueve una deficiencia en el crecimiento de las plantas por ausencia de clorofila y del proceso fotosintético.

Por otro lado, la concentración de K si tiene un efecto después de la quema. Por lo que, Casanova (2005) señala que el K es absorbido por las plantas y su principal fuente en los suelos son los minerales primarios como las micas y los feldespatos potásicos. Con la meteorización estos minerales pueden liberar potasio en forma no intercambiable, luego en forma intercambiable y por último en la solución del suelo, que pueden ser absorbidos por las plantas o pasar a formas intercambiables y no intercambiables debido a las reacciones de equilibrio. De igual forma el K puede ser fijado por los coloides del suelo pasando a formar parte de la estructura cristalina y bajo esta forma no es intercambiable, pero está en equilibrio con la solución de suelo siendo una reserva importante de K.

Vale recalcar que el efecto que hay mediante la incorporación del K y Na al suelo después de la quema en ambos tratamientos puede promover las actividades catalíticas que necesita la planta, sin embargo, los valores de K y Na como el de los otros cationes son muy bajos para promover el rebrote de la biomasa.

A su vez Casanova (2005), señala que el Ca y el Mg son los principales causantes del aumento del pH de los suelos (estudios previos en la zona de estudio indican que después de la quema aumenta el pH pero que disminuye en el tiempo). El Ca es absorbido por las plantas en forma de catión divalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y es un componente estructural de la pared celular y por lo tanto es muy importante en la formación de nuevas células, por lo que su deficiencia se refleja en poco crecimiento de las plantas con tallos débiles, debido a que la pared celular tendría poco espesor. El poco crecimiento también se observa en las raíces, lo cual inhibe a la planta para explorar un mayor volumen de suelo y poder absorber nutrimentos y agua, lo que se presume que sucede en estos sistemas por escasez de nutrimentos de acuerdo a los resultados obtenidos (Casanova, 2005).

Es importante recalcar, que la baja oferta de cationes presentes en estos suelos (como Na, Mg, K y Ca) es producto de las altas tasas de meteorización y erosión que ha sufrido estos suelos durante millones de años, por lo que, la quema no es un factor predominante en la degradación de los ecosistemas, también hay que considerar el clima, el tiempo y la erosión a los que ha estado expuesto esta zona de estudio lo que ha llevado al proceso de sabanización y por ende a la acidificación de los suelos, promoviendo una mayor concentración de  $H^+$  y  $Al^{3+}$ , haciendo potencialmente tóxicos la solución del suelo, generando un deterioro en la salud del ecosistema (Hruška, *et al*, 2012).

Por otro lado, Caon, *et al* (2014) indican que, los incendios de alta intensidad conducen a la pérdida de casi el 80% del total de los cationes intercambiables en el suelo a través de la escorrentía superficial y el flujo sub-superficial. De hecho cationes intercambiables (especialmente  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) generalmente no se pierden por volatilización debido a su alta temperatura de volatilización. También hace énfasis, en que las concentraciones de  $Na^+$  y  $Mg^{2+}$  después del fuego no muestran cambios significativos. Sin embargo el análisis de componentes principales indica todo lo contrario, ya que hay una tendencia por parte del tratamiento QIN a tener mayores concentraciones de K, Ca y Mg y del QTP tener mayores concentraciones de Na, asociados a que las quemas producidas en este experimento fueron de baja intensidad alrededor del 30%.

Por otro lado, Casanova (2005) señala que la suma de cationes básicos en condiciones de acidez ( $pH < 6,5$ ) como los observados en la Gran Sabana los cationes predominantes son  $H^+$  y  $Al^{3+}$ , esto explica porque los cationes básicos como  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  se encuentran en tan bajas concentraciones. Es por esto, que generalmente los suelos jóvenes, poco evolucionados tienen un dominio en sus sitios de intercambio de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , en la medida que son suelos mas meteorizados como los de la zona de estudio el  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  intercambiables, disminuyen su cantidad debido a que los sitios de intercambio son ocupados principalmente por  $H^+$  y  $Al^{3+}$ .

Schargel (1977) estudio detalladamente las características físicas, químicas y mineralógicas de suelos de baja actividad en Venezuela, concluyendo que las bases intercambiables son bajas y los valores de aluminio intercambiable son generalmente inferiores a 1,5 Cmol/kg de suelo. Esto nos permite inferir porque existe tan pocas

concentraciones de los cationes bases ya que no hay superficies coloidales como arcillas o MO (que fue removida por el fuego) que pueda retener estos elementos.

McIntosh *et al* (2005) señalan que muchos estudios han demostrado que la quema aumenta la disponibilidad de nutrientes en los suelos superficiales y se asocia con un aumento a corto plazo del pH en la capa superficial del suelo que puede ser tan grande como 2,5 unidades de pH. Sin embargo, este aumento de pH puede invertirse con el tiempo. Por otro lado, los aumentos a corto plazo en nutrientes en general han sido considerados como positivos, algunos autores han advertido que se pueden producir efectos negativos a largo plazo. Por eso hace énfasis en que el aumento de nutrientes a corto plazo como resultado de fuego puede en el tiempo, convertirse en un déficit de nutrientes, lo que resulta en menores tasas de crecimiento y regeneración de la biomasa, es por esta razón que se deben realizar estudios a largo plazo para evaluar la distribución de estos elementos y corroborar lo expresado por McIntosh, *et all* (2005) ya que en este trabajo se ha observado como hay un aporte de algunos elementos por lo que habría que estudiar su distribución a largo plazo.

Basado en todo lo anterior, se puede resumir que de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis multivariado (donde todas las variables dependientes interaccionan con todas las variables independientes, simulando las condiciones reales de un sistema natural, que es complejo, heterogéneo y muy variable), indica que después de la quema se observa un efecto en los elementos K, Ca, COT y Mg, los cuales tienen un selección específica hacia el tratamiento QIN, el N total se distribuye igual en ambos tratamientos y por último el Na y el P disponible se encuentra en mayores concentraciones en el tratamiento QTP. Por lo que, en ambos tratamientos si ocurre un efecto después de la quema aunque estadísticamente no sea significativo, a excepción del Na y K.

## 7- CONCLUSIONES

- Las concentraciones de COT y NT estuvieron en el rango de valores de concentración encontrados en otros estudios de sabanas tanto de los Llanos como de la Región Guayana. Sin embargo, tanto el P disponible como el Na, K, Ca y Mg estuvieron, en general, muy por debajo de lo reportado para estas regiones, indicando la alta pobreza de los suelos de esta zona de estudio.
- A excepción de P disponible en QTP y QIN, y del K en el caso del tratamiento de QTP, no hubo ninguna tendencia hacia la disminución de nutrientes en el suelo, por el contrario en la mayoría de los nutrientes estudiados mostraron una tendencia hacia su incremento con respecto a T0 (antes de la quema), alcanzando un máximo al séptimo día (T7), momento en el que se encontraron las mayores concentraciones de nutrientes después de la quema.
- El análisis multivariado señala que los primeros tiempos (T0, T1 y T3) de los tratamientos QTP y QIN, se parecen al tratamiento CTROL (más el QIN que el QTP) y en el transcurso de los días ocurre una sucesión temporal (cambio progresivo) hacia T7. Sin embargo, estos efectos son de muy corta duración, mostrando un descenso en la concentración de los nutrientes al octavo día (T8) con respecto a T7.
- Estos resultados no apoyan la concepción de que las prácticas de quema por parte de los indígenas Pemón en áreas de sabana tengan un efecto de degradación y pérdida de los nutrientes sobre estos ecosistemas (al menos en el corto plazo).
- Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, y considerando las características de alta pobreza y acidez de los suelos de la sabana, éstos no serían aptos para la agricultura, aún bajo la acción del fuego y la consecuente entrada de nutrientes al suelo.

## **8- RECOMENDACIONES**

- Es evidente, la necesidad de continuar las mediciones en cuanto a la concentración de nutrientes en el suelo y la vegetación durante los años de estudio del experimento del fuego, para complementar estos resultados y poder comprender el efecto a mediano y largo plazo en la dinámica de los macro y micronutrientes en estos ecosistemas de la Gran Sabana.
- Se recomienda trabajar con la fracción de arcilla del suelo para estudiar la distribución de los elementos después de la quema.

## 9- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, A. C. (2007). Suelos tropicales. Reimpresión de la 1era Edición. San José. Costa Rica. 168.

Bilbao, B. (1995). Impacto del régimen de las quemas en las características edáficas, producción de materia orgánica y biodiversidad de sabanas tropicales en Calabozo, Venezuela. Centros de estudios avanzados. Instituto de investigaciones científicas (I.V.I.C). 212.

Bilbao, B., Méndez, C., Delgado, María., y Moreno, J. (2006). Fire behavior in experimental savanna burnings in Gran Sabana, Canaima National Park, Venezuela. V International Conference on Forest Fire Research. 17.

Bilbao, B., Leal, A., y Méndez, C. (2010). Indigenous use of fire and forest loss in Canaima National Park, Venezuela, assessment of and tools for alternative strategies of fire management in Pemón indigenous lands. *Revista Human Ecology*. 11.

Bilbao, B., Leal, A., Méndez, C., Osio, A., y Hasmy, Z (2011). Significado ecológico de las sabanas y zonas de transición sabana-bosque en el mosaico de vegetación de la Gran Sabana. Recomendaciones para el manejo y la recuperación de áreas degradadas por el fuego. *Restauración Ecológica de Venezuela, Fundamentos y Experiencias*. 28.

Bilbao, B., Zambrano, E., Millán, A., Leal, A., y Méndez, C. (2012). Interacción a largo plazo de Biomasa-Fuego-Carbono orgánico del suelo en sabanas tropicales. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 7.

Bustamante, M.M.C., Medina, E., Asner, G.P., Nardoto, G. B., y Garcia Montiel, D. C. (2006) Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry*. 209–237.

Caon, L., Vallejo, R., Coen, R., y Geissen, V. (2014). Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews*. 47–58.

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Caracas: UCV, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (colección estudios). 482.

De La Rosa, D. (2008). Evaluación agro-ecológica de suelos. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. 404.

Delgado, L., H. Castellanos y M. Rodríguez. (2009). Capítulo 2 Vegetación del Parque Nacional Canaima. Pp 41 - 75. En: Señaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). (2009). Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.

Dezseo, N. (1994). Ecología de la Altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana) I. *Scientia Guaianae*. 37.

Dezseo, N., Chacón, N., Sanoja, E., and Picón, G. (2004). Changes in soil properties and vegetation characteristics along a forest-savanna gradient in southern Venezuela. *Forest ecology and Management*. 183-193.

EDELCA. (2008). *La Cuenca del Río Caroní en Cifras*. Puerto Ordáz, Venezuela: Electrificación del Caroní (EDELCA).

FAO (2012). Manejo del Fuego. Consultada el 7 de Marzo de 2015. De <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>.

Frost, P.G.H., y Robertson, F. (1985). Determinants of tropical savannas. Brian H. Walker Chief (Eds.). *The ecological effects of fire in savannas*. Australia. 93 – 140.

Hernández, I., y López Hernández. D. (2000). Dinámica del fosforo en el estrato herbáceo de un sistema de *Trachypogon* sometida a quema y pastoreo. *Revista Acta Biológica de Venezuela*: 14-20.

Huber, O. (1995). Geographical and physical features. Pp. 1-61. En: J. Steyermark, P. Berry and B. Holst (Eds.). *Flora of the Venezuelan Guayana*. Vol. 1: Introduction. Missouri Botanical Garden. St. Louis.

Huber, O. y Febres, G. (2000). *Guía Ecológica de la Gran Sabana*. Ecograph Proyectos Ediciones, Caracas.

Hruška, J., Oulehle, F., Šamonil, P., Sebesta, J., Tahovská, K., Hleb, R., Houška, J., y Šikl, J. (2012). Long-term forest soil acidification, nutrient leaching and vegetation development: Linking modelling and surveys of a primeval spruce forest in the Ukrainian Transcarpathian Mts. *Ecological Modelling*. 28– 37.

Ladrach, W. (2009). *El efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales*. Zobel Forestry Associates, Inc. Maryland, USA. 20.

McIntosh, P., Laffan, M., y Hewitt, A. (2005). The role of fire and nutrient loss in the genesis of the forest soils of Tasmania and southern New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 185–215.

Medina, E. (1993). *Mineral Nutrition: Tropical Savannas*. Progress in Botany, Vol. 54. Springer Verlag Berlin Heidelberg. 17.

Medina, E., y Bilbao, B. (1991). Significance of nutrient relations and symbiosis for the competitive interaction between grasses and legumes in tropical savannas. *Modern Ecology: basic and applied aspects*. Elsevier Science Publ. B. V. Amsterdam. 295-319.

Medina, E., y Silva, J. (1990). Savannas of Northern South America: A Steady State Regulated by Water-Fire Interactions on a Background of Low Nutrient Availability. *Journal of Biogeography*, Vol. 17, No. 4/5, Savanna Ecology and Management: Australian. 403-413.

Mendoza, V. (2006). Geología de Venezuela. 2a. Edición. Gran Colombia Gold Corp. Bogotá. 364.

Montoya, E., Rull, V., Nogue, S., y Díaz, W. (2009). Paleoecología del Holoceno en la Gran Sabana, SE Venezuela: Análisis preliminar de polen y micro carbones en la Laguna Encantada. *Collectanea Botánica* Vol. 28. Barcelona. 65-79.

Montoya, E., Rull, V., Stansell, N., Abbott, M., Nogué, S., Bird, B., y Diaz, W. (2011). Forest–savanna–morichal dynamics in relation to fire and human occupation in the southern Gran Sabana (SE Venezuela) during the last millennia. *Quaternary Research*: 335–344.

Moscovich, F., Ivandic, F., y Besold, L. (2010). Manual de combate de incendios forestales y manejo de fuego (nivel inicial). Ediciones INTA. Argentina. 42.

Moscovich, F., Ivandic, F., y Besold, L. (2014). Manual de manejo del fuego y control de incendios forestales. Ediciones INTA. Argentina. 38.

Myers, R (2006). Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. The Nature Conservancy. Pp 36.

Otero, M., Santos, D., Barros, A., Calapez, P., Maia, P., Keizer, J., Esteves, V., y Lillebø, A. (2015). Soil properties, phosphorus fractions and sorption after wildfire in north-central Portugal. *Geoderma Regional*. 86–95.

Pantoja, C. (2008). Las dos caras del fuego:-Invitando a reflexionar sobre la “cara buena” y la “cara mala” del fuego. Informe Técnico del Equipo Global para el Manejo del Fuego 2008-1. The Nature Conservancy. Arlington, 16.

Renison, D., Cingolani, A.M., y Suarez, R. (2002). Efectos del fuego sobre un bosquecillo de *Polylepis australis* (Rosaceae) en las montañas de Córdoba, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* Vol. 75: 719-727.

Rivera-Lombardi, R. (2009). Capítulo 1 Aspectos Geográficos y Físicos del Parque Nacional Canaima. Pp 27- 37. En: Señaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). (2009). *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.

Ronen, E. (2008) Microelementos en la Agricultura. *Red Hidroponía*, Boletín No 38. Perú. 11.

Romanya, J., Khanna, P., y Raison, R. (1993). Effects of slash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *Forest Ecology and Management*. 89-103.

Russell Smith, J., Monagle, C., Jacobsohn, M., Beatty, R., Bilbao, B., Millán, A., Vessuri, H., y Sánchez, I. (2013). Can savanna burning projects deliver measurable greenhouse emissions reductions and sustainable livelihood opportunities in fire-prone settings?. published Springer. 15.

Salazar, R., Bilbao, B., Millán, A., Zambrano, E., y Hernández, I. (2012). Efecto de prácticas agrícolas Pemón sobre los suelos de Kavanayén- Gran Sabana. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 7.

Schargel, R. (1977). *Soils of Venezuela with low activity clays, characteristics and classification of selected soil profiles*. Unpublished, pH. D. dissertation North Carolina State University. North Carolina, USA.

Señaris, J. C., Lew., D y Lasso, C. (eds.). 2009. Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas. 256.

Singer, M. y Munns, D. (1999). Soils: an introduction. 4<sup>th</sup> Ed. Publisher Prentice Hall. USA.464.

Sletto B. (2011) Conservation planning, boundary-making and border terrains: The desire for forest and order in the Gran Sabana, Venezuela. *Geoforum*. 197-210.

Tarbuck, E., y Lutgens, F. (2005). Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física. 8va Edición. Editorial Prentice Hall. Madrid. 736.

Thompson, L. M., y Troeh, F.R. (2002). Soils and Fertility. Fourth edition. Mc Graw – Hill Book Company. New York, USA. Pp 639.

Van de Vijver, C.A.D.M., Poot P., y Prins H.H.T. (1999) Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil* 214: 173–185.

## 10- APENDICE

### 10.1- TABLA DE RESULTADOS

**Tabla 2:** Concentración de los elementos COT, N total, relación C/N, P disponible, Na, Mg, K, Ca y suma de cationes en los tratamientos.

Tratamientos	Días	COT (%)	Nt (%)	P (ppm)	Na (Cmol/kg)	Mg (Cmol/kg)	K (Cmol/kg)	Ca (Cmol/kg)	C/N	$\Sigma$ [cationes] (Cmol/kg)
CTRL	0	1,85	0,24	1,7	0,004	0,004	0,008	0,011	7,71	0,027
	1	1,72	0,15	1,83	0,002	0,003	0,006	0,002	11,47	0,013
QTP	0	1,41	0,09	1,42	0,001	0,003	0,006	0,002	15,67	0,012
	3	1,45	0,14	1,51	0,002	0,003	0,006	0,003	10,36	0,014
	7	2,1	0,38	0,53	0,006	0,004	0,002	0,004	5,53	0,016
	8	1,17	0,14	0,31	0,007	0,004	0,002	0,004	8,36	0,017
	1	2,54	0,15	1,14	0,002	0,004	0,007	0,004	16,93	0,017
	3	2,07	0,21	1,68	0,004	0,005	0,009	0,005	9,86	0,023
QIN	0	1,96	0,25	1,24	0,003	0,004	0,006	0,004	7,84	0,017
	7	1,8	0,35	0,06	0,01	0,0045	0,01	0,004	5,14	0,029
	8	2,17	0,27	0,74	0,004	0,005	0,01	0,0042	8,04	0,023

## 10-2. Análisis ANOVA y Posteriori

**Tabla 3.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento COT.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p
<b>Tiempo</b>	0,38708	4	0,09677	0,3066	0,867102
<b>Tratamiento</b>	1,02524	1	1,02524	3,2482	0,101674
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,50388	4	0,12597	0,3991	0,805079
<b>Error</b>	3,15633	10	0,31563		

**Tabla 4.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento N total.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p
<b>Tiempo</b>	0,075208	4	0,018802	1,53027	0,266195
<b>Tratamiento</b>	0,016649	1	0,016649	1,35504	0,271419
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,023684	4	0,005921	0,48189	0,748941
<b>Error</b>	0,122868	10	0,012287		

**Tabla 5.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento P disponible.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	P
<b>Tiempo</b>	3,65652	4	0,91413	0,83549	0,535704
<b>Tratamiento</b>	0,10090	1	0,10090	0,09222	0,768280
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,78149	4	0,19537	0,17857	0,943807
<b>Error</b>	9,84713	9	1,09413		

**Tabla 6.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento Na.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p
<b>Tiempo</b>	0,000074	4	0,000019	18,5629	0,000127
<b>Tratamiento</b>	0,000002	1	0,000002	2,2215	0,166950
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,000020	4	0,000005	5,1187	0,016585
<b>Error</b>	0,000010	10	0,000001		

**Tabla 7.** Resumen de los resultados Posteriori, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento Na.

		QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN
T	Tratamiento	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
0	QTP		0,87	1,00	1,00	1,00	0,34	0,05	0,0007	0,02	0,66
0	QIN			1,00	0,99	1,00	0,96	0,21	0,0015	0,09	1,00
1	QTP				1,00	1,00	0,68	0,11	0,0012	0,05	0,93
1	QIN					1,00	0,58	0,09	0,0008	0,04	0,90
3	QTP						0,77	0,13	0,0013	0,06	0,96
3	QIN							0,55	0,0040	0,27	1,00
7	QTP								0,1906	1,00	0,44
7	QIN									0,36	0,004
8	QTP										0,21
8	QIN										

**Tabla 8.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento Mg.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p
<b>Tiempo</b>	0,000005	4	0,000001	1,3413	0,320626
<b>Tratamiento</b>	0,000004	1	0,000004	5,0359	0,050665
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,000001	4	0,000000	0,4150	0,794262
<b>Error</b>	0,000009	10	0,000001		

**Tabla 9.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento K.

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F	p
<b>Tiempo</b>	0,000009	4	0,000002	0,7276	0,593056
<b>Tratamiento</b>	0,000078	1	0,000078	26,3774	0,000440
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,000052	4	0,000013	4,4296	0,025645
<b>Error</b>	0,000030	10	0,000003		

**Tabla 10.** Resumen de los resultados Posteriori, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento K.

		QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN	QTP	QIN
T	Tratamiento	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
0	QTP		1,00	1,00	0,98	1,00	0,62	0,71	0,45	0,72	0,22
0	QIN			1,00	0,97	1,00	0,49	0,65	0,38	0,66	0,15
1	QTP				0,99	1,00	0,64	0,69	0,47	0,70	0,23
1	QIN					1,00	0,97	0,27	0,80	0,28	0,52
3	QTP						0,80	0,57	0,59	0,58	0,33
3	QIN							0,09	0,99	0,10	0,96
7	QTP								0,09	1,00	0,036
7	QIN									0,09	1,00
8	QTP										0,036
8	QIN										

**Tabla 11.** Resumen de los resultados de ANOVA factorial, se aprecia las diferencias entre los tratamientos, horas y su relación en los tratamientos QTP y QIN durante los 8 días después de la quema para el elemento Ca.

	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tiempo</b>	0,000056	4	0,000014	1,41510	0,298033
<b>Tratamiento</b>	0,000045	1	0,000045	4,56350	0,058404
<b>Tiempo*Tratamiento</b>	0,000034	4	0,000008	0,84606	0,527179
<b>Error</b>	0,000099	10	0,000010		

### 10.3- Análisis de Componentes Principales (ACP)

**Tabla 12.** Resumen de los resultados del análisis multivariado ACP.

	<b>Eje 1</b>	<b>Eje 2</b>
<b>Valores</b>	2,87	1,902
<b>Porcentajes</b>	40,995	27,169
<b>Acumulación (%)</b>	40,995	68,164
<b>COT (%)</b>	0,394	0,044
<b>N (%)</b>	0,403	<b>-0,333</b>
<b>P (ppm)</b>	<b>-0,242</b>	0,445
<b>Na (Cmol/kg)</b>	<b>-0,09</b>	<b>-0,629</b>
<b>Mg (Cmol/kg)</b>	0,466	<b>-0,187</b>
<b>K (Cmol/kg)</b>	0,368	0,486
<b>Ca ( Cmol/kg)</b>	0,514	0,147