

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO  
PRODUCIDAS POR LA QUEMA CONTROLADA DE VEGETACIÓN EN EL  
MUNICIPIO DE CUMARIBO, DEPARTAMENTO DEL VICHADA**

**HEBER DANILO DOMÍNGUEZ CÉSPEDES, I.A**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES  
2016**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO  
PRODUCIDAS POR LA QUEMA CONTROLADA DE VEGETACIÓN EN EL  
MUNICIPIO DE CUMARIBO, DEPARTAMENTO DEL VICHADA**

**HEBER DANILO DOMÍNGUEZ CÉSPEDES, I.A**

**Trabajo de tesis para optar al título de Magíster Scientiarum en Desarrollo  
Sostenible y Medio Ambiente**

**Director Trabajo de Grado  
JUAN CARLOS GRANOBLES TORRES, I.A - MSc.**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES  
2016**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

Director de Tesis

---

Jurado

---

Jurado

Manizales, Noviembre de 2016

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi guía y mi luz.

A la memoria de mis Padres Alejandro Domínguez Benavides (q.e.p.d.) y Susana Céspedes Ramos (q.e.p.d) por su infinito amor, constancia y sacrificio eterno porque hoy puedo ver alcanzada una de las más grandes de mis metas. Sin ellos jamás hubiera sido posible.

A mi hijo Jefferson Sebastián por ser mi gran amor y el motivo de mis grandes sueños.

A todos mis hermanos y en especial a Wilmer y Gloria que a pesar de nuestras grandes diferencias que existen entre nosotros y la distancia que nos separa. Los amo con todo mi corazón.

A mi adorable sobrina Diana Yulitza, por su cariño y afecto sin condición.

A ti Omaira Chipiaje esposa mía y a nuestro futuro bebé.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos:

A Juan Carlos Granobles I. A. MSc. Director del trabajo de Tesis por todos sus consejos y orientaciones.

A la familia Chipiaje Ponare, Manuel, Mercedes, Mireya, Franklin, Alejandro. Gracias por vuestro apoyo incondicional y por la hospitalidad que me brindaron en su hogar antes, durante y después de mi trabajo de investigación.

A Omaira Chipiaje Ponare, por todos los consejos y valiosa colaboración, sin ti no hubiera sido posible la investigación en ésta comunidad indígena Sikuni de Cumariana.

A la Comunidad Indígena Sikuni de Cumariana por el apoyo y cariño que me prodigo su gente, los cuales permitieron realizar mi trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
3. HIPOTESIS	18
4. JUSTIFICACION	19
5. MARCO TEORICO	23
5.1 REFERENTE TEORICO	23
5.1.1 Calidad física	27
5.1.2 Calidad química	28
5.1.3 Efectos de la quemas en las propiedades del suelo	32
5.1.4 Antecedentes	42
5.1.4.1 Antecedentes a nivel Mundial	42
5.1.4.1.1 Efectos del fuego sobre el recurso suelo	44
5.1.4.2 Antecedentes a nivel Nacional	49
5.1.4.2.1 Manejo de la sabana nativa	49
5.1.4.2.2 Cambios en las propiedades químicas del suelo	53
5.1.4.2.3 Cambios en las propiedades físicas del suelo	55
5.1.4.3 Antecedentes a nivel Departamental	57
6. OBJETIVOS	59
6.1. OBJETIVO GENERAL	59
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	59
7. MÉTODO Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	60
7.1 SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA	60

7.1.1 Enfoque de la investigación	60
7.2 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	60
7.3 PARÁMETROS EVALUADOS Y LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS	64
7.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	65
8. RESULTADOS	66
9. DISCUSION	72
9.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO QUE PRESENTARON CAMBIOS DESPUÉS DE LA QUEMA CONTROLADA DE VEGETACIÓN.	72
9.1.1 Propiedades Físicas	72
9.1.1.1 Análisis en función de la Textura	72
9.1.2 Propiedades Químicas	77
9.1.2.1 Análisis en función de los nutrientes del suelo	77
9.1.2.2 Análisis en función de la Acidez y la CIC del suelo	85
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	111

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características de la Textura del suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.	67
Tabla 2. Características de los nutrientes del suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.	69
Tabla 3. Características de la Acidez y la C.I.C del Suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.	71

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Municipio de Cumaribo, departamento del Vichada.	60
Figura 2. Croquis de las parcelas de investigación (Diseño de Bloques al Azar).	62
Figura 3. Interacción entre el momento de quema y la profundidad sobre el contenido de Arena. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.	74
Figura 4. Interacción entre el momento de quema y la profundidad sobre el contenido de Arcilla. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.	74
Figura 5. Interacción entre el momento de quema y la profundidad sobre el contenido de Carbono Orgánico. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.	79
Figura 6. Interacción entre el manejo y la profundidad sobre el contenido de Fósforo. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.	81
Figura 7. Interacción entre el momento de la quema y la profundidad sobre el contenido de Aluminio. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.	90

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Temperatura y precipitación de Cumaribo Noviembre 2015.	111
Anexo 2. Temperatura y precipitación de Cumaribo Diciembre 2015.	113

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la comunidad indígena Sikuaní de Cumariana, ubicada a 5 kilómetros del municipio de Cumaribo (Vichada) donde se planteó como objetivo general evaluar los cambios producidos en el suelo después de las quemadas controladas de vegetación. Las quemadas de vegetación han sido una tradición ancestral de las comunidades indígenas y colonos del municipio y de todo el departamento del Vichada, al igual que en los demás departamentos del país; para realizar la siembra de cultivos los agricultores queman la vegetación en época de verano con el fin de eliminar las malezas (arvenses) y dejar el lote limpio para poder sembrar las semillas, por otra parte se tiene la creencia que la quema de vegetación abona o fertiliza los suelos presentándose un mayor desarrollo de los cultivos. Se utilizó un DBA (Diseño en Bloques al Azar) con un arreglo factorial  $2^3$  (2 Momentos de toma de datos: 1 hora antes de la quema y a los 30 días después de la quema; 2 Manejos: con quema y sin quema; 2 Profundidades: (0-10) cm y (10-20) cm, con 3 repeticiones, se utilizaron 6 Unidades Experimentales en forma de cuadro con 50 m de lado cada una (2.500 m<sup>2</sup>) y una distancia entre calles de 10 metros; evaluando los efectos de las quemadas controladas de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo. La periodicidad de las quemadas es un factor que podría regular las pérdidas de nutrientes. Si las quemadas ocurren en forma anual, puede producirse una reducción en el capital de nutrientes del suelo, especialmente de materia orgánica, P y K, pero si estas ocurren cada dos o tres años se reducen las pérdidas o se puede alcanzar un balance estable.

**Palabras clave:** Pasturas, quema, suelo, propiedades físicas, propiedades químicas.

## ABSTRACT

This study was conducted in the Sikuni of Cumariana indigenous community, located 5 kilometers from Cumaribo (Vichada) where he was raised as a general objective to evaluate the changes in the soil after controlled burning of vegetation. Burning of vegetation have been an ancestral tradition of indigenous communities and settlers from the municipality and the entire Vichada department, like other departments in the country; for planting crops farmers burn vegetation in summer with eliminate weeds (weeds) and leave the lot clean to sow the seeds, on the other hand it is believed that burning vegetation paid or presenting fertilizes the further development of crop soils. a DBA (Design random blocks) was used with a factorial arrangement  $2^3$  (2 Moments of data collection: 1 hour before burning and 30 days after burning; 2 Handling: with burning without burning; 2 Depths. (0-10) cm and (10-20) cm with 3 replications, 6 experimental units were used in square form with 50 m of each side ( $2,500 \text{ m}^2$ ) and a distance between streets 10 meters; evaluating the effects of controlled burning of vegetation in the physical and chemical properties of soil. The frequency of fires is a factor that could regulate nutrient loss. If fires occur annually, a reduction may occur in the capital of soil nutrients, especially organic matter, P and K, but if they occur every two or three years, losses are reduced or can achieve a stable balance.

**Keywords:** Pastures, burning, soil, physical properties, chemical properties.

## 1. INTRODUCCIÓN

La quema de vegetación se ha utilizado desde hace miles de años como una técnica rudimentaria eficaz en limpiar el terreno y dejarlo en condiciones adecuadas para cultivar lo más pronto posible. Ésta sistema de siembra es muy común en sistemas de agricultura migratoria que consiste en tumbar y quemar un área nueva siempre que termina un ciclo productivo.

El suelo es el recurso más importante para el desarrollo del sector agropecuario y la forma en que el ser humano haga uso y manejo de éste recurso determina en gran manera la productividad del mismo. Desafortunadamente, el afán por satisfacer las necesidades inmediatas tiene prioridad sobre “el mañana” y la manera como satisfacemos nuestras necesidades hoy puede ser perjudicial a mediano y largo plazo para las futuras generaciones especialmente cuando el hombre utiliza las quemas controladas de vegetación como su principal herramienta para cultivar la tierra.

El suelo es un recurso natural no renovable, por lo que protegerlo y conservarlo es fundamental, el suelo tras una quema controlada de vegetación sufre cambios en sus propiedades físicas y químicas que junto con la pérdida temporal de la capa vegetal, lo convierte en un sistema frágil y vulnerable a la erosión y la degradación. Éste ha sido el gran olvidado en los programas de desarrollo agropecuario por eso es fundamental elaborar alternativas que conduzcan a identificar las zonas críticas y sensibles con el fin de tomar las medidas preventivas oportunas para establecer mecanismos de protección del suelo y restauración de los ecosistemas afectados por las quemas controladas de vegetación.

Se busca con ésta investigación incluir un nuevo insumo para la construcción de planes de desarrollo agropecuario sostenible y a una visión de desarrollo sostenible del municipio y del departamento en los aspectos sociales, económicos y ambientales.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante muchos años en el municipio de Cumaribo (Vichada) se ha desarrollado una agricultura y ganadería tradicional, como gran parte de la población pertenece al sector indígena existen muchas creencias y tradiciones ancestrales muy arraigadas que han hecho de la quema controlada de vegetación una única solución para el control de arvenses, rebrote de pastos o para adecuar el lote para la siembra de diversos cultivos autóctonos; entre los cuales se encuentra la Yuca Brava (*Manihot sculenta*), Maíz Clavito (*Zea maíz*), Pastos Nativos como el Guaratara (*Axonopus purpusii*), Lambedora (*Leersia hexandra*), Rabo de Vaca (*Andropogon bicornis*), Pasto Blanco (*Panicum versicolor*), Pasto Cenizo (*Axonopus sp*), Cola de Venado (*Andropogon selloanus* y *Andropogon leucostachyus*), Cutupena (*Sporobolus jacquemontii*), Gramas (*Paspalum notatum* y *Paspalum conjugatum*), Paja (*Paspalum plicatulum*), Paja Chigüirera (*Paspalum fasciculatum*), Plátano (*Musa paradisiaca*), entre otros.

Estas creencias y tradiciones de indígenas y colonos se han establecido generación tras generación a través del tiempo y no ha habido un punto de quiebre de ésta situación, en el municipio de Cumaribo no se han presentado paquetes tecnológicos que sirvan para hacer transferencia de tecnología y poco a poco ir demostrando con parcelas demostrativas que hay actualmente nuevos procedimientos para adecuar los lotes de siembra sin tener que recurrir como única opción al uso de la quema controlada de vegetación, los cuales tienen en cuenta el desarrollo sostenible no sólo de la región sino del mundo entero y convertirán los suelos en más productivos.

De manera práctica se ha demostrado que inmediatamente después de la quema controlada de vegetación se presenta un aumento de la fertilidad del suelo produciendo un crecimiento rápido de los cultivos, condición deseada de los agricultores pero sin tener en cuenta las consecuencias a mediano y largo plazo como también las emisiones de gases tóxicos a la atmósfera; afectando el desarrollo sostenible a nivel mundial.

Estas prácticas son muy frecuentes en sistemas de agricultura migratoria la cual consiste en la tumba y quema de vegetación de un área nueva cada vez que termina un ciclo productivo.

#### Alteraciones en el suelo

- Produce pérdida de espacio o área que reúne las condiciones adecuadas para que una especie pueda residir y reproducirse (hábitat).
- ✓ Alteración de los ecosistemas (comunidades)
- ✓ Cambio en el valor de pH de la superficie del suelo hasta un 0.5, lo que lo convierte a uno extremadamente ácido, limitando la disposición de los nutrientes para las plantas.
- ✓ Disminuye la infiltración de las aguas a través del suelo.
- ✓ Nutrientes tales como fósforo (P), nitrógeno (N), y azufre (S) son volatilizados
- ✓ La quema de pastos ocasiona la pérdida de cubierta vegetal, lo que promueve:
  - Reducción de la humedad (no hay cubierta vegetal, lo cual aumenta

la radiación solar y la exposición al viento)

- Muerte de microorganismos beneficiosos
- Aumenta la erosión del suelo y la sedimentación.

Al haber erosión se produce el proceso de sedimentación lo cual contribuye a la disminución de la capacidad de almacenar agua de las fuentes hídricas como los ríos, lagos y quebradas. La erosión produce contaminación y los nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo al ser arrastrados a fuentes hídricas promueven un crecimiento desmedido de algas, las cuales reducen el paso de la luz solar y compiten por el oxígeno del agua. (Gonzales, 2009).

La práctica de quema controlada de vegetación que se hace en los llamados Conucos y quemas de pastos a campo abierto en la época de verano en los meses de Diciembre a Marzo, son muestras claras que no se tiene un conocimiento sobre las consecuencias a mediano y largo plazo en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Teniendo en cuenta el continuo crecimiento poblacional del municipio los agricultores han tenido que incrementar sus cosechas pero debido al bajo rendimiento de los cultivos han tenido que aumentar sus áreas de siembra de cultivos lo cual conlleva a realizar más quemas controladas de vegetación en nuevos lotes sin saber los efectos que éstas producen en las propiedades físicas y químicas del suelo. (Cristino, 2007).

La presentación de un nuevo enfoque agropecuario sostenible en la región representa los desafíos más importantes para el gobierno regional y nacional así como para el sector privado, para cambiar las tendencias empíricas de desarrollo agropecuario que aún siguen reinando en la región, la respuesta de la transición de la quema a la práctica de no quema por parte del país ha sido muy lenta, vale

la pena aclarar que los países subdesarrollados son los que más utilizan ese tipo de recurso.

Se deben hacer trabajos de investigación complementados con prácticas de campo para que los agricultores y ganaderos puedan observar de primera mano que se pueden hacer manejos sostenibles de los cultivos sin hacer uso de las tradicionales quemadas controladas de vegetación ya que éstas en un mediano y largo plazo alteran las características físicas y químicas del suelo llevándolo a un suelo extremadamente ácido y cada día más infértil lo que implicaría el uso masivo de fertilizantes químicos y el uso constante de agroquímicos.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué cambios ocurren en las propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes profundidades después de una quema controlada de vegetación?.

## **3. HIPOTESIS**

Los suelos sometidos a quemadas controladas de vegetación presentan cambios positivos en todas sus propiedades físicas y químicas que mejoran su fertilidad con el tiempo.

#### **4. JUSTIFICACION**

La práctica de las quemas controladas de vegetación necesita de una estrategia muy bien articulada con los diferentes actores involucrados en la región para tener un conocimiento previo de la situación y poder hacer un diagnóstico muy bien detallado de la problemática para llevar a cabo estrategias y programas de desarrollo sostenible mediante transferencia de tecnología y capacitación a la población en general y así ir cambiando poco a poco de la práctica de quema a la práctica de no quema.

Inicialmente se deben identificar los actores involucrados que propendan por el progreso y desarrollo sostenible de la región, preguntarles por la opinión que tienen sobre la práctica de las quemas controladas de vegetación y de qué manera están comprometidos con la búsqueda de alternativas o soluciones para contribuir o aportar junto con los agricultores con un desarrollo agropecuario más sustentable en la región. Además tratar de integrar a otros actores no involucrados de manera directa.

La quema controlada de vegetación es una de las principales fuentes de contaminación ambiental por sus efectos no sólo al suelo sino al agua, al aire y en general al medio ambiente, por lo tanto constituye un problema serio a nivel mundial dada las repercusiones que ésta tiene, es por ello que se deben hacer esfuerzos para mejorar las técnicas que permitan mejorar la detección de agentes contaminantes y monitorear constantemente los ecosistemas sujetos a impactos ambientales severos, con el fin de tomar las medidas preventivas.

El municipio de Cumaribo, ha sido explotado drásticamente por la acción del hombre, amenazando de esta forma los ecosistemas. En el afán de garantizar su

supervivencia (autoconsumo), la población ha venido haciendo uso de pequeñas parcelas llamadas "conucos", que resultan de la tala y quema de los bosque o sabanas nativas, acción que predispone a la pérdida de las propiedades físicas y químicas del suelo dada su alta fragilidad eco sistémica más aún por ser un suelo con tendencia de textura arenosa. (Concejo de Puerto Carreño 2012)

El suelo es un pequeño universo donde habitan millones de micro organismos los cuales son indispensables para mantener los ecosistemas saludables y contribuir con el ciclo de los nutrientes, la quema controlada de vegetación causa daños al ecosistema, que sin la ayuda del hombre puede durar varios años en recuperarse a veces el poder de resiliencia de los ecosistemas es muy lento.

La práctica continua de la quema controlada de vegetación durante todos estos años ha cambiado las propiedades físicas y químicas naturales del suelo, los ha convertido con el tiempo en suelos extremadamente ácidos, poco fértiles su contenido de materia orgánica ha sido desgastado y muchos nutrientes han sido volatilizados por tener características gaseosas o han sido lixiviados o transportados de un lugar a otro por acción del agua o el viento al carecer de una capa o cubierta vegetal razón por la cual ha generado cambios en la fisionomía vegetal afectando la densidad y diversidad de la población faunística.

El componente ambiental se constituye como uno de los más importantes a ser tenidos en cuenta en los procesos de planeación que se generen tanto en el municipio como en el departamento dada la gran fragilidad que presentan los ecosistemas existentes.

En la formación del suelo intervienen factores físicos, químicos y biológicos que durante un largo y complejo proceso descomponen la roca madre lo que provoca la desintegración de los minerales, animales y plantas que finalmente contribuyen a la disponibilidad de nutrientes para las plantas, en la mayoría de los casos son los factores antrópicos los que contaminan el suelo por no tener conocimiento de

sus actos o por la necesidad desmesurada de conseguir sus necesidades sin pensar en las mismas necesidades que pueda tener una población futura.

Hoy en día, el sector agropecuario exige en sus diferentes procesos prácticas que tengan en cuenta el respeto por el medio ambiente, lo cual obliga a pensar en nuevas alternativas y oportunidades de desarrollo, de aquí surge el reto de buscar sistemas integrados y sostenibles que generen una mayor productividad de los cultivos evitando crear nuevas áreas de siembras pero que permitan satisfacer las necesidades de una población cada día en aumento.

Por otra parte los modelos de producción agropecuarios tradicionales, donde se usa un alto porcentaje de quemas, generan impactos irreversibles en el suelo, agua y el aire.

Aún, con la información disponible, el rol de este fenómeno para el mantenimiento de los sistemas naturales sigue siendo conflictivo. Es importante destacar que a pesar de un uso frecuente del fuego, no se dispone de información regional del efecto sobre las propiedades físicas químicas del suelo.

La investigación fue viable, ya que se dispuso de los recursos necesarios para hacer el estudio adecuado. Se informará a las autoridades ambientales regionales sobre la investigación para facilitar el trabajo de campo y promover el interés por los resultados de ésta investigación y aplicabilidad de rentabilidad de los cultivos en las diferentes zonas del departamento, incluidas las zonas de Resguardos Indígenas.

Existen muchas investigaciones en otros países sobre el efecto de las quemas controladas de vegetación en las diferentes especies animales, vegetales y en las propiedades físicas y químicas del suelo pero no existen muchas investigaciones a nivel nacional y ninguna a nivel municipal ni departamental que hagan referencia al efecto producido en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Con el estudio se conseguirá identificar el efecto de la quema controlada de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo, con lo que se buscará generar una mayor comprensión del efecto de las quemas con respecto a la productividad de los cultivos en un corto, mediano y largo plazo.

Se pretende proporcionar información valiosa a las personas y entidades del sector que promueven, formulan y ejecuten programas de desarrollo agropecuario sostenible.

A los agricultores y ganaderos les servirá esta investigación para conocer más sobre el efecto de las quemas en las propiedades del suelo.

A los educadores les servirá para concientizar a sus estudiantes sobre las consecuencias de las quemas de vegetación si se quieren implementar programas de desarrollo sostenible.

A la sociedad vichadense le resulta sumamente fructífero contar con resultados de una investigación sobre el efecto de las quemas de vegetación a fin de reflexionar sobre la relación quemas vs suelo en un contexto de sostenibilidad.

La quema controlada de vegetación podría ser un problema superado si se logra comprender mejor el efecto negativo de estas formas ancestrales de trabajo, razón por la cual se desea llevar a cabo un estudio acerca de los cambios que se producen en las propiedades físicas y químicas del suelo ocasionados por una quema controlada de vegetación en un suelo del municipio de Cumaribo departamento del Vichada.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1 REFERENTE TEORICO**

Hay gran diferencia entre la quema prescrita y la quema controlada, donde sólo se elige el lugar y el momento de quemar una zona preseleccionada y nos limitaríamos a estimar los medios necesarios para su control en caso de contingencia. Sólo se tiene entonces conocimiento aproximado de la intensidad desarrollada y de la cantidad de combustible que se va a consumir, con lo que la consecución de objetivos queda mucho más incierta. La quema prescrita supone definición de objetivos, planificación de las condiciones meteorológicas y de combustibles más apropiada (lo que se denomina ventana de prescripción, RX Windows) para cumplirlos, evaluación y seguimiento adecuado que retroalimente futuros programa de quema.

La práctica de la quema prescripta es ciencia y arte: ciencia porque emplea conocimientos de física, química, climatología aportando los conocimientos para un apropiado manejo del fuego y arte porque existen variaciones de vegetación, clima y comportamientos del fuego que desafían una cuantificación precisa (Ryan 1990).

El incendio se puede definir como el fuego sin control que afecta directamente a los recursos naturales. Tienen efecto más destructivo y descontrolado sobre diferentes comunidades vegetales y especies animales, reducen la materia orgánica que se recicla en el suelo y ocasionan la disminución de la fertilidad del suelo a largo plazo. Las consecuencias medioambientales de los incendios de pastizales y bosques dependen de las características de la vegetación, suelo, clima y el tipo de fuego producido. La época, intensidad, temperaturas máximas,

frecuencias y extensión son las de mayores impactos. (Franquesa, 1994). La acción conjunta de los factores mencionados determina que los efectos del fuego y la recuperación posterior varían según el área y tipo de incendio. La vegetación subsiguiente al evento es consecuencia de los factores mencionados anteriormente, el incendio no siempre tiene las mismas consecuencias. Si los individuos que componen la comunidad vegetal poseen mecanismos de regeneración pos-fuego la vegetación se recuperará; pero cuando la frecuencia de las quemadas es elevada, las estructuras adaptadas y responsables de la recuperación se debilitarán o desaparecerán. El fuego ejerce una acción en el balance entre los árboles y los pastizales. La menor frecuencia de aquel favorece el incremento en número, altura, volumen de la copa y biomasa de las plantas arbóreas en detrimento de los pastizales.

Estas condiciones tan opuestas, son responsables de que el fuego como herramienta sea valorado en formas diferentes. Conocer las ventajas del uso y desventajas de los abusos del fuego es un acto de formación ambiental (Folch, 1994).

Los fuegos de alta intensidad afectan la productividad y la estabilidad de los suelos debido al calor excesivo; por el contrario, un fuego de baja intensidad facilita el ciclo de algunos nutrientes y puede ayudar al control de patógenos de las plantas; en general no incrementa la erosión del suelo. Por otro lado, un incendio intenso volatiliza cantidades excesivas de nitrógeno y otros nutrientes esenciales, destruye la materia orgánica, altera la estructura del suelo y puede inducir la repelencia al agua. La combinación de estos efectos propicia una erosión excesiva del suelo y la pérdida de su potencial productivo (Aguirre, 1981).

(Trollope, 1993), observó que el efecto del fuego sobre los pastizales depende del tipo e intensidad, la estación y la frecuencia de las quemadas. Otros autores, (Correa y Aronovich, 1979) indican que es importante relacionar la cantidad de material combustible acumulado con los regímenes de lluvia de la región. El

conocimiento de estos factores significa disponer de una guía que permite el uso del fuego como una herramienta valiosa en el manejo de pastizales.

En zonas semiárida, con predominio de pastizales con bosques nativos, los productores ganaderos utilizan con frecuencia el fuego como herramienta de manejo (Nazar, 1988). Estos autores señalan numerosos beneficios, entre ellos la eliminación y/o control de plantas arbustivas; incrementar la producción primaria; rejuvenecer plantas leñosas; eliminar material acumulado poco palatable preparar camas de siembra y el mejor manejo de la hacienda en los potreros. Entre los inconvenientes observados, señalan a la destrucción de la materia orgánica, subutilización de los potreros quemados durante un tiempo y la destrucción de especies valiosas sino fuesen controlados factores tales como frecuencia, época del año, humedad del aire y suelo, temperatura y velocidad del viento.

(Casco, 1993), comenta que la investigación sobre el uso racional del fuego en pastizales se incrementó en los últimos 20 años, debido principalmente a los siguientes factores: a) el fuego es acontecimiento natural, b) es herramienta de manejo de uso frecuente por su bajo costo y c) otras técnicas de manejo (fertilización, implantación de especies forrajeras, uso de herbicidas, etc.), estarían limitadas por el mayor costo y/o deterioro ambiental que ocasionarían. En los sistemas productivos de cría, predominantes en el Vichada, se fija la demanda de forraje del rodeo en la época invernal, produciendo una subutilización del recurso pastizal en los momentos de mayor crecimiento (época de invierno). Ese material acumulado es quemado a fin de favorecer el rebrote y mejorar la calidad del recurso forrajero. Sin embargo esta práctica se realiza en cualquier época del año y bajo condiciones ambientales desfavorables (altas temperaturas, baja humedad relativa del aire y suelo). El mismo autor, indica que se desconoce aún los efectos del fuego sobre los principales pastizales, siendo necesario la investigación aplicada de este factor como una herramienta de manejo de ese importante recurso forrajero.

El mayor efecto del fuego sobre las propiedades del suelo es indirecto debido a la eliminación de la vegetación muerta, la reducción de la broza en superficie, la deposición de cenizas y como consecuencias de ellos altera el microclima (Raison, 1979; Knapp y Seastedt, 1986).

El fuego introduce efectos negativos y positivos sobre las propiedades de los suelos. La magnitud de estos efectos depende fundamentalmente de los valores que muestren las variables del comportamiento del fuego, tales como su intensidad lineal, la velocidad de propagación y el calor liberado por unidad de área. Las magnitudes de estas variables dependerán de factores como el combustible, la topografía y el tiempo atmosférico.

La quema prescrita es proceso controlado del uso del fuego por personal calificado, sobre material combustible localizado puntualmente, en área específica, bajo condiciones climáticas seleccionadas con el fin de lograr objetivos de manejo predeterminados bien definidos, quedando el fuego confinado al área tratada y en marco de seguridad (Geen 1981, Wade y Lunsford 1988, Weber y Taylor 1992).

El incendio se puede definir como el fuego sin control que afecta directamente a los recursos naturales.

(Trollope, 1991), destaca la importancia de estudiar el comportamiento del fuego mediante la observación de diferentes parámetros cuantitativos. Entre ellos señala la intensidad del fuego, la extensión del frente del incendio, la altura y profundidad de la llama y las temperaturas alcanzadas. Comenta que los numerosos modelos matemáticos existentes son difíciles de aplicar a campo y los resultados igualmente difíciles de interpretar. Dado que existe una estrecha relación entre los factores mencionados y sus efectos sobre la vegetación, él propone el uso de una metodología sencilla con la que se pueda medir los factores mencionados además de humedad del suelo, humedad relativa, temperatura del aire y velocidad del viento en el momento de la quema.

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante en la degradación del suelo, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud (Díaz-Fierros et al., 1990; Rubio et al., 1997; Andreu et al., 2001).

Existe un gran volumen de información sobre el uso de las quemas controladas con finalidad preventiva y medioambiental, pero aún no están lo suficientemente estudiados los efectos de las temperaturas extremas que se generan durante el proceso de quema sobre las propiedades de los suelos, teniendo en cuenta que las consecuencias positivas o negativas del fuego dependen, sobre todo, del tipo de suelo y su contenido de humedad, de la intensidad, extensión y duración de la quema, de la cantidad de material vegetal consumido y de las condiciones climáticas tras el incendio (Chandler et al., 1983; San roque et al., 1985; Marcos et al., 1999).

A continuación se especifica los efectos comunes de la quema sobre la calidad física, química y biológica del suelo.

### **5.1.1 Calidad física**

Las propiedades físicas del suelo sufren ciertos cambios considerables, especialmente en la capa superior. La densidad aparente del suelo tiende a disminuirse, lo cual puede ser positivo al facilitar la penetración de raíces, especialmente para plantaciones forestales (González, 1987). Sin embargo, otras plantas de raíces débiles podrían sufrir debido a que la fase sólida del suelo se endurece en el proceso. Al mismo tiempo, la capacidad de retención de humedad se reduce, representando un problema en climas secos o estacionales.

Los valores de densidad y porosidad del suelo a diferentes profundidades, antes y después del fuego, no manifiestan diferencias significativas para los

períodos de tiempo ni profundidades estudiadas, dado a la baja intensidad de las quemaduras aplicadas, que no consumieron en su totalidad la materia orgánica, favoreciendo a que los cambios en las características físicas del suelo no sean modificados.

De acuerdo con Flores y Benavides (2009), la intensidad del fuego y el tiempo de exposición al calor del suelo mineral definen el grado de respuesta de las propiedades del suelo. De esta forma, los efectos específicos del fuego en el suelo pueden variar exponencialmente. Además, debe considerarse la frecuencia, la duración y la intensidad del fuego, así como las características del suelo. Sin embargo, Aguirre (1981) se refiere a que el fuego modifica la permeabilidad del suelo, pero es poco probable que el calor sea suficiente para alterar características como su textura.

De la misma manera las condiciones físicas de los suelos son alteradas en su textura y otras propiedades inherentes (Hernández y Martínez, 2000)

### **5.1.2 Calidad química**

(Batista, 1995). Citado por (Martínez, 2006) refiere que cuando la materia orgánica del suelo es quemada, las sustancias netas contenidas son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que generalmente presentan reacción alcalina. De ese modo, cuando las cenizas son depositadas en el suelo la tendencia es a disminuir la acidez. (Soares, 1985) describe experimentos de quema controlada donde la acidez fue reducida en dos a tres unidades de pH, volviendo a la normalidad cinco años después de la quema.

Para el caso de la materia orgánica, el mayor contenido en el suelo superficial en la sabana protegida estaría relacionado no solo por los mayores aportes provenientes del material epigeo, sino también de las raíces. En ausencia de quema, una mayor cantidad de asimilados pueden ser transportados para

contribuir al desarrollo radical y no a la formación de nuevos tejidos fotosintéticos consumidos por la quema (San José et al, 1982).

. La destrucción de la materia orgánica implica una pérdida de nutrientes del sistema. Las pérdidas de nitrógeno (N) por combustión en las quemas de los pastizales fue de aproximadamente 1,2 a 3,0 g N/m<sup>2</sup> (Ojima, 1987; Ojima et al. 1990 Citado por Casco (1993), Vallejos (1975).

Los valores medios de la cantidad de materia orgánica (MO), al pasar un año fueron significativamente inferiores en las parcelas quemadas.

En el caso del fósforo, ocurrió un incremento no significativo después de un año en las parcelas quemadas, lo contrario del K<sub>2</sub>O, que decreció. Benítez (2003) refiere incrementos en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio de valores relativamente altos en plantaciones de *Pinus caribaea*. La quema produce pérdidas que no son compensadas con las entradas por precipitación u otras fuentes; situación que se refleja en menores cantidades de P disponible en el suelo y que también ha sido reportada para el P orgánico y el P total (Hernández-Valencia y López-Hernández 1999). Para el K, la precipitación eventualmente contrarresta las pérdidas por quemas, sin embargo el K es muy móvil y pudiera ser lixiviado con mayor fuerza en sabanas con menor cobertura de vegetación que intercepte la precipitación y disminuya el flujo de agua hacia el suelo. En las sabanas protegidas con mayor cobertura arbórea, la hojarasca de estos árboles puede enriquecer el suelo (Kellman, 1979, Susach 1984). Adicionalmente, la presencia de árboles favorece el desarrollo de la macro fauna del suelo, sobre todo si hay leguminosas arbóreas como *Bowdichia virgilioides*, que tienen el potencial para fijar N atmosférico (Mboukou - Kimbatsa et al, 1998). En todo caso, las variaciones absolutas observadas de aquellos parámetros que mostraron diferencias estadísticas significativas fueron muy pequeñas y posiblemente no producen cambios biológicos importantes.

Los contenidos de fósforo asimilable comparados antes y después de las quemas experimentan ligeros incrementos no significativos para las diferentes profundidades, los cuales son atribuidos a la rápida mineralización del fósforo, causada por el efecto del fuego al acelerar la descomposición de la materia orgánica y a un menor grado de la movilidad entre perfiles de este elemento.

(Maags, 1988) evaluó algunos efectos de quema controlada en plantaciones de *Pinus elliottii* en el sudeste de Queensland, Australia. Los resultados demostraron que una única quema controlada redujo hasta el 52% de la biomasa total. La biomasa y las cantidades de N, P, Na y Mg fueron significativamente menores en el piso del bosque quemado hasta 1.5 – 2.5 años después de la quema, más las diferencias declinaron rápidamente, y después de tres años ningún efecto de la quema fue evidente.

El potasio asimilable experimenta incrementos significativos al término de los siete días debido al aporte de cenizas procedente del fuego, el cual indujo una fuerte mineralización del potasio de la materia orgánica, aumentando sus contenidos; sin embargo, a los 36 meses se observan valores similares a los iniciales, determinados por la baja severidad de la quema y las características del suelo que le permite retornar a sus condiciones iniciales.

(Benítez, 2003). Citado por (Martínez, 2006] refiere incrementos en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio a valores relativamente altos en plantaciones de *Pinus caribaea*, después de ser afectados por el fuego.

Según (MINAG, 1984), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es clasificada de muy baja para los resultados, apreciándose que los valores tienden a disminuir significativamente a los 12 meses de efectuadas las quemas prescritas, debido principalmente a la disminución de la cantidad de materia orgánica, aunque a los 36 meses se observa un incremento de los valores determinados después de las quemas, pero sin llegar a los valores iniciales antes

de quemar. La baja CIC está relacionada con la dificultad de que se produzca intercambio catiónico en zonas de pH muy ácido [Marcos et al., 1999].

Los valores del porcentaje de saturación que las bases representan dentro de la capacidad de intercambio catiónico se pueden considerar bajos de acuerdo con (Cairo y Fundora, 2007), con incrementos no significativos a partir del primer año de aplicado el fuego en la capa superficial del suelo.

Al evaluar el efecto del fuego en las concentraciones de nutrientes del suelo, comparados antes y después de las quemas, propiciaron un incremento inicial para el Ca, Mg y K.

(Debano, 1989) afirma que grandes cantidades de algunos nutrientes, tales como N, S y P pueden ser volatilizados durante un incendio. Cationes, tales como Ca, Mg, K y Na, no son volatilizados, sin embargo, pequeñas cantidades podrán ser transferidas del sitio por el humus.

(Soares, 1990) analizó los efectos de la quema controlada en poblaciones de *Pinus caribaea* y *Pinus oocarpa*. Los resultados indicaron que la concentración del N en la hojarasca fue reducida entre un 44 y 39.2% y el P de 45 y 41,6%, respectivamente. Los otros elementos analizados (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, y B) aumentaron sus concentraciones después de la quema, excepto el Ca en el rodal de *Pinus caribaea*. Todos los elementos disponibles (mineralizados) aumentaron significativamente en la camada superior del suelo, después del fuego, retornando a los niveles anteriores después de siete meses.

Por otro lado, el pH del suelo sufre un ligero y progresivo aumento, ligado a la disponibilidad inmediata de cationes en la ceniza (Mills, 2007). Según Martínez y Becerra (2004), la CIC decrece cuando ocurre una quema, debido a la degradación de coloides orgánicos e inorgánicos. De tal manera, la CIC total permanecerá baja durante al menos un año después de la quema. En ese

aspecto, es necesario señalar que, como consecuencia de la liberación de Ca, Mg, K y Na, la saturación de bases aumentará, e igualmente la conductividad eléctrica.

### **5.1.3 Efectos de la quemas en las propiedades del suelo**

Después de realizar la quema, la materia orgánica no disminuye significativamente, pero al transcurrir 12 meses de efectuada, los valores disminuyen significativamente para ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm), debido a su consumo por el fuego y por los microorganismos del suelo, además de ser muy lento el proceso de descomposición de las acículas por su alto contenido de lignina.

A los 36 meses de aplicada la quema los contenidos de materia orgánica se registran valores similares a los existentes antes de aplicar el fuego, al retornar el ecosistema a las condiciones iniciales y a la incorporación de los diferentes restos vegetales. Por su parte, (De las Heras et al, 1995) observaron incrementos significativos a través del tiempo (65 meses) de la materia orgánica en suelos afectados por incendios. Por el contrario, Flores y Benavides (1994) observaron incrementos ligeros no significativos de la materia orgánica en los bosques de Pino michoacana (pino-encino y pino con otras hojosas). Contrario a esto, Martínez et al. (2003) encontraron una disminución significativa para los valores de la materia orgánica desde 1,81 antes del incendio hasta 1,48 a los tres años de haber ocurrido en bosques naturales de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* en Macurijes, Pinar del Río, debido al consumo total del arbolado por las llamas del incendio.

El aumento de temperatura durante la quema puede conducir a pérdidas de nutrientes en las primeras capas del suelo. Un estudio llevado a cabo en Japón por (Su y Katagiri, 1997) demostró que el nitrógeno, uno de los nutrientes básicos de las plantas, se puede reducir notablemente luego de la quema. En el estudio, el nitrógeno de la capa superficial del suelo se redujo de 31 kilogramos por hectárea

inmediatamente después de la quema a menos de 7 kilogramos por hectárea en 11 meses. Otro estudio realizado en Venezuela encontró pérdidas de un 95% de la materia vegetal, a la vez que 97% de nitrógeno, 61% de fósforo y 76% de potasio, por mencionar los tres llamados nutrientes primarios. Debido al efecto del fuego, estos elementos son transformados y transferidos al aire, convirtiéndose en contaminantes (Hernández y López, 2002).

Como la cantidad de carbono está directamente relacionada con la cantidad de materia orgánica del suelo, no se va a observar una disminución drástica del contenido de carbono hasta que no se rebasen los 450 °C que es cuando la combustión de materia orgánica es casi total (Giovannini, 1994, 1997; Úbeda, 2001), lo que sólo es significativo en fuegos de alta intensidad. Estos resultados coinciden con los de Díaz Fierros et al. (1982), Sánchez et al. (1994) y Úbeda (2001) que observan un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido fuegos de baja intensidad.

Según (De Lillis, 1993) el contenido de nitrógeno en los suelos quemados tiende a incrementar o disminuir, a lo largo del tiempo, según la abundancia de herbáceas perennes. (Sánchez et al, 1994) y (Blank y Zamudio, 1998) observan un descenso general de las concentraciones de nitrógeno después de seis meses comparándolas con las concentraciones halladas justo después del incendio, atribuyéndolas al consumo producido para la germinación de ciertas especies que aparecen en condiciones de post incendio. Las pérdidas de C y N total que previsiblemente ocurrirían como consecuencia de la incineración de la materia orgánica del suelo, se verían compensadas por los aportes de material incinerado que se acumula sobre el suelo, dando un balance final positivo inmediatamente después de la quema (Díaz Fierros et al., 1982).

En síntesis la pérdida de MO afecta la estabilidad de los agregados dejando el suelo más susceptible a la degradación. La preparación del suelo con conservación de residuos contribuye a aumentar los niveles de MO a una

condición similar a un bosque natural. Esto también sucede en cuanto a la estabilidad de los agregados del suelo. Conservar residuos resulta además, una alternativa cuando se piensa en la potencialidad de estos suelos para secuestrar C atmosférico (Lupi, 2002).

Con relación al fósforo asimilable y en todas las profundidades estudiadas, se observa, justo después de la quema, un incremento extraordinario estadísticamente significativo debido al aumento de la temperatura capaz de mineralizar el fósforo orgánico más que a la adición de fósforo por parte de la combustión de la vegetación (Romanyá et al., 1994; Giovannini, 1997); este hecho se considera responsable, en una buena parte, de la fertilidad que aprovechan los cultivos implantados tras un Manejo previo de quemado. La concentración del fósforo a los 7 y 30 días disminuye y aumenta respectivamente. A los 90 días los valores detectados fueron semejantes a los encontrados tras los 7 días de la quema, demostrando que el incremento inicial de la fertilidad es efímero, ya que al cabo de tres meses, una buena parte de la fertilidad desarrollada por el quemado había desaparecido. (Lal, 1974), en un estudio de mayor duración demuestra que la pérdida de fertilidad no solo restituía el suelo a sus niveles iniciales sino que incluso descendía significativamente de los mismos llevando los suelos a un nivel de pobreza nutritiva importante.

En un estudio sobre quemas de baja intensidad en *Pinus taeda* (Binkley, 1992) encontraron que el fuego solo afecta la capa orgánica del suelo en forma superficial, cuando se compararon con parcelas no quemadas observaron que los tenores P, Mg, S, K no fueron afectados, el Ca aumento levemente y N y CO decreció levemente.

El potasio experimenta un aumento generalizado en su concentración a todas las profundidades hasta los 30 días después de la quema. Diversos autores obtuvieron resultados semejantes (Sánchez et al, 1994; Giovannini, 1997; Blank y Zamudio, 1998; Úbeda, 2001), atribuyendo el aumento a la ceniza producida tras

la combustión de la vegetación, aunque (Dimitrakopoulos et al. 1994) señalan que si no hay suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración de potasio se verá reducida a corto plazo después del incendio.

La periodicidad de las quemas es un factor que podría regular las pérdidas de nutrimentos, si las quemas ocurren en forma anual, puede producirse una reducción en el capital de nutrimentos del suelo, especialmente de materia orgánica, P y K, pero si estas ocurren en forma bianual o trianual se reducen las pérdidas o se puede alcanzar un balance estable. (Coutinho, 1988) observó en el cerrado brasileño, que los lugareños practican la quema cada tres años y que la precipitación restituye durante este período, los nutrimentos que se pierden por la combustión de la vegetación. Ello favorece el uso de la quema como una práctica rápida y económica para el manejo de los pastizales nativos y que además procura un balance nutricional estable.

Inmediatamente después del incendio y a los 7 días se observó a las profundidades estudiadas un leve aumento no significativo en el contenido de calcio y magnesio; casi ninguna variación en el contenido de sodio justo después del incendio. A los 30 y 90 días la concentración de dichos elementos disminuye dando un balance final positivo en comparación con las concentraciones halladas antes del incendio. (Giovannini, 1997) señala un aumento en la concentración de calcio, magnesio y sodio en parcelas quemadas a baja intensidad (desde los 170°C hasta los 500°C). Pero (Blank y Zamudio, 1998) señalan diferencias en el comportamiento de las concentraciones dependiendo de la vegetación que se incendie. La disminución observada en la concentración de los cationes a los 30 y 90 días después del incendio puede ser debida a un lavado favorecido por la precipitación caída en éste periodo y al hecho de que se trata de un suelo arenoso (Carreira y Niell, 1995; Marcos et al., 1999).

El fuego puede tener un marcado efecto en el ciclo y el balance de los nutrientes en un ecosistema (O'Connell et al., citados por Raison, 1985).

De acuerdo con (Wells et al., 1979) la acidez en las camadas superficiales del suelo es reducida por la quema, como un resultado de la liberación de los cationes básicos por la combustión de la materia orgánica y los minerales. El pH en el suelo es elevado temporalmente dependiendo de la cantidad de cenizas liberadas, del pH original, de la composición de las cenizas y de la humedad local. Por su parte Benítez (2003) encontró en parcelas quemadas de *Pinus caribaea Morelet*, valores de pH cercano a la neutralidad (6.6).

Diversos autores (Debano y Conrad, 1978; Díaz-Fierros et al., 1982; Wilbur y Christensen, 1983; Marcos et al., 1999) señalan que en quemas de baja intensidad no se detectan variaciones de pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas

Existe información sobre el efecto de quemas prescritas de baja intensidad en algunas propiedades químicas de suelos de *Pinus hartwegii*, erosión y escorrentía, que ha sido obtenida además por (Aguirre, 1978) y (Rey, 1980) citados por (Rodríguez, 2002) quienes refieren para suelos andosoles mólicos, de textura franco arenosa, ricos en materia orgánica, ácidos (pH = 5.5) a neutros (pH = 7), ricos en nitrógeno y fértiles, que el fuego a baja intensidad no provocó cambios significativos en pH, pero que sí se registró una pequeña pérdida de nitrógeno por volatilización. El fósforo aumentó del intervalo 1.57 a 7.42 ppm (parte por millón); el Ca aumentó del intervalo 1,755 a 3,406 ppm, hasta 2,145 a 3,900 ppm; también refieren aumentos en K, Mg y un ligero incremento en Na.

De acuerdo con lo expresado por (Vega et al. 2000), el pH suele aumentar en suelos quemados por fuego prescrito debido al aporte de cationes procedente de las cenizas, aunque dependiendo de la intensidad de la quema y otras características edáficas puede no haber cambios apreciables.

Los cambios en el pH se deben, según Giovannini (1994), a la pérdida de grupos hidrófilos por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la

disolución de carbonatos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a 450°C para que este incremento sea notable

El suelo es el recurso básico para la agricultura y la silvicultura. La forma en que el hombre maneje este recurso determina en gran parte la productividad del mismo. Desafortunadamente, la necesidad inmediata tiene prioridad sobre mañana y lo que es conveniente hoy puede ser perjudicial y dañino a largo plazo, especialmente en lo que se refiere a las quemas. Sin embargo, el fuego no es siempre dañino para el suelo y su efecto depende de ciertos factores específicos. El factor principal a tomar en cuenta cuando nos referimos al fuego es la pendiente del terreno. La posibilidad de daños físicos que la quema puede ocasionar al suelo aumentan con la pendiente (Smith, 1962). Las quemas no deben practicarse en laderas con pendientes fuertes y largos debido al riesgo de erosión. En pendientes moderadas el desplazamiento del suelo después de un incendio o quema es insignificante (Cooper, 1971).

En suelos planos, la quema presenta pocos peligros de erosión (Moble et al, 1973). La repetición de las quemas es otro factor importante. En el Canadá, (Strang, 1970) reportó que las quemas repetidas degradaron el suelo en las áreas rocosas del oeste de la Provincia de Nueva Escocia. Las quemas repetidas en pendientes fuertes también causan erosión (Scotter, 1972). En suelos planos en la costa atlántica de Norteamérica, la quema anual no parece dañar el suelo. Las quemas anuales practicadas durante un período de 20 años no han reducido la materia orgánica ni el contenido de nitrógeno existente en los suelos (Stone, 1971). Al cabo de 12 años de quemas bianuales no se ha encontrado diferencias en el rendimiento ni en la composición de las plantas herbáceas que crecen debajo de un bosque de coníferas en el estado de Luisiana (Grelen, 1975).

La textura del suelo también determina la influencia del fuego sobre la erosión. Los suelos arenosos son altamente erodables durante lluvias fuertes, aún en pendientes leves, después de haber sido descubiertos por el arado o por quemas.

En sitios planos o casi planos las quemas no producen daños cuando las lluvias no son fuertes porque las arenas permiten la penetración rápida del agua (Smith, 1962). Los suelos arcillosos, especialmente los suelos compactados por el ganado, son susceptibles a la erosión superficial después de las lluvias, debido a su menor capacidad de absorción de agua y debido a una mayor cantidad de escorrentía.

El efecto de la escorrentía del agua sobre suelos arcillosos en pendientes es producir cárcavas. La quema de desperdicios agrícolas tiende a dañar los suelos arcillosos en pendiente fuertes (Moblely et al, 1973).

Contrario a la opinión popular, el calentamiento del suelo producido por las quemas controladas es solo superficial y leve (Heyword, 1938; Stone, 1971). En un estudio de la quema de la caña en Cuba, se registraron temperaturas de las llamas de entre 600°C y 750°C, mientras que la temperatura máxima del suelo a los dos centímetros de profundidad no subió de 34°C (Velazco y otros, 1968).

Se comparó el sistema tradicional de tala y quema con el sistema de eliminación del material vegetal con buldócer, apilando los desperdicios. Los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- El estado de las bases aumentó marcadamente con las quemas.
- El contenido de calcio, magnesio y potasio intercambiable se triplicó después de la quema mientras que en el área aclarada con el buldócer permaneció igual.
- El fósforo disponible aumentó dramáticamente con la quema.
- El contenido de materia orgánica no disminuyó con la quema pero el carbón orgánico y el nitrógeno disminuyeron en el área aclarada con buldócer porque se arrastró la capa superior del suelo (humus) a las pilas de desperdicio.

Otros autores que han hablado sobre la quema controlada en bosques de coníferas en los Estados Unidos, han concluido que la quema prescrita en el Sur normalmente causa poco o ningún cambio en el contenido de materia orgánica en los suelos superficiales (Mobley et al, 1973). Tampoco se ven muy afectadas las cantidades de bases y nutrientes minerales en los bosques por las quemas controladas (Stone, 1971). Varios estudios han mostrado que el uso de las quemas controladas, bien planeadas y llevados a cabo, no tiene impacto significativo sobre la calidad de agua (Douglas & Van Lear, 1983).

En un estudio sobre la quema del ripio de trigo, no se encontraron diferencias en la productividad del sitio después de doce años de quemas (Stone, 1970).

El concepto de uso de las quemas controladas no es nuevo. Los agricultores han quemado sus campos para establecer cultivos y han quemado los restos que quedan después de las cosechas desde que el hombre se volvió sedentario y empezó a manejar cultivos agrícolas. Las quemas controladas utilizadas en la silvicultura para la preparación de sitio para el replante es tan antigua como la silvicultura misma. Sin embargo, la quema controlada como método para reducir el peligro de incendios forestales es un concepto reciente, pero de gran utilidad.

En términos generales, las leyes promulgadas durante el Siglo XX tendían a catalogar como delito todo tipo de fuego y prohibir las quemas controladas igualándolos a los incendios forestales fuera de control.

Además de la reducción del peligro de incendios, se ha encontrado que el fuego es importante para la salud de las plantaciones forestales. “La práctica de la exclusión del fuego entre 1920 y 1970 aumentó el peligro de incendios y también los niveles de infección en los bosques de California” (Alexander y Hawksworth, 1976).

El fuego juega un papel importante para el reciclaje de nutrientes, el flujo de

energía y para la cadena de alimentos (Sotter, 1972). Después de que aumentaron las áreas afectadas por grandes incendios forestales en los Estados Unidos, la nueva política del Siglo XXI propone aumentar el uso de las quemas controladas para reducir el peligro de los incendios y mejorar los ecosistemas que dependen del fuego (Mutch 1994). En el Estado de la Florida (EE. UU.) Se aplican las quemas prescritas a entre 600.000 y 1.400.000 ha por año en los bosques, en el sector agropecuario y para la restauración ecológica de bosques y praderas.

Por supuesto, el humo asociado con las quemas es un problema en las áreas pobladas y en las carreteras. Los propietarios y el público tienen que entender el valor del fuego para los objetivos de manejo además de los límites de su uso en cuanto a sus implicaciones negativas (Long, 2006).

Así, debido a su ausencia y a la pérdida de nutrientes, el suelo se ve condenado a ser cada vez más infértil y surge la necesidad de introducir nuevos insumos a la finca.

Se considera que los efectos negativos sobre el suelo no ocurren por el simple hecho de dar fuego, sino que sobrevienen de acuerdo con la frecuencia y magnitud de la quema. En aras de una agricultura que garantice la seguridad alimentaria de los agricultores, sus familias y comunidades, es necesario buscar alternativas que sustituyan o controlen la práctica de tumba y quema, de manera que se reduzca la destrucción de los suelos y así mantener o mejorar su fertilidad y, consecuentemente, su productividad.

La quema de vegetación es una práctica muy extendida en los trópicos, en donde se usa como herramienta de manejo agrícola para la eliminación de la cobertura vegetal, control de plagas y malezas, remoción del material seco y adición de nutrimentos al suelo, entre otros. Se considera que en los trópicos la quema de las sabanas es más importante que la quema de la vegetación leñosa, (Hao et al. 1990). Este hecho merece evaluaciones más exhaustivas, ya que por

su extensión y gran productividad, las sabanas pueden jugar un papel importante en los ciclos biogeoquímicos globales, a través de la producción de materia orgánica y por el efecto de la quema sobre los procesos productivos y la emisión de partículas y gases. (Crutzen y Andrade 1990).

En las sabanas, la quema de vegetación se aplica para eliminar el material seco y significado y estimular la producción de forraje con mayor contenido nutritivo y más aceptable para el ganado (Medina et al. 1978). Además de su valor práctico, la quema ha sido considerada como un factor ecológico determinante en la estructura, composición florística, productividad y ciclo de nutrientes, de estos ecosistemas (Medina et al.1978, San José y Fariñas 1983, Hernández-Valencia y López-Hernández, 1999).

El interés del estudio de las propiedades físicas y químicas de los suelos afectados por el fuego reside fundamentalmente en valorar la disponibilidad de nutrientes, básicamente los elementos esenciales, en relación con el estado de humedad del suelo, así como la pérdida de materia orgánica, los cambios en la textura del suelo y el incremento de escorrentía, que lleva como resultado una mayor erosión (Giovannini, 1994; Úbeda, 2001).

El fuego, a veces enemigo, a veces amigo, en cualquier caso, siempre repercute sobre los recursos naturales existentes en cualquier ecosistema. Es esencial, por consiguiente, tener en cuenta su efecto probable al formular planes y programas de desarrollo agropecuario y forestal. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios que experimentan algunas de las propiedades del suelo tras una quema controlada de vegetación.

La estabilidad de los agregados es un indicador de la sustentabilidad de una práctica de manejo debido a que indica el grado de susceptibilidad de un suelo a la degradación ante la acción de un agente externo como el agua, el viento o el laboreo.

El impacto de la quema en la productividad del sitio está relacionado con la intensidad del fuego. Cuando el fuego es muy intenso, provoca una pérdida severa de nutrientes y tiende a decrecer la productividad del sitio, sin embargo cuando las intensidades de fuego son bajas, la quema puede incluso hasta aumentar la productividad, (Carter and Foster, 2003).

Las investigaciones hechas sobre tratamientos de quema y no quema de residuos, que analizan la productividad del sitio, muestran que en especies con mayor demanda de nutrientes (Eucalyptus, Araucaria) la quema incrementa el crecimiento inicial mientras que en especies menos demandantes (*Pinus taeda, elliottii*) no hay diferencias relevantes, de todas maneras los resultados son de corto plazo, aparentemente las diferencias tenderían a matizarse con el tiempo. Antes de formular restricciones contra la práctica de las quemas, es necesario estudiar profundamente el impacto del fuego en el medio y las consecuencias de su eliminación.

Las restricciones de las quemas en el Siglo XX resultó en un cambio de muchos ecosistemas, con un aumento en la presencia de arbustos, junto con un aumento en la acumulación de vegetación, viva y muerta, la cual aumentó el riesgo de incendios grandes y dañinos sin control (Long, 2006).

#### **5.1.4 Antecedentes**

##### **5.1.4.1 Antecedentes a nivel mundial**

En Venezuela, durante la quema de caña se observó un aumento máximo de 6°C a los dos centímetros de profundidad del suelo, la cual se mantuvo solamente durante 20 minutos (Arnal, 1976). A una profundidad de cinco centímetros, la temperatura subió solamente 1,5°C durante la misma quema de la caña. Por otra parte, Arnal (1976) comentó que: “Las quemas originadas trajeron grandes ventajas para los cañicultores, evitando el riesgo de propagación de los incendios

por todas sus fincas y áreas circunvecinas”.

En Australia, la exclusión parcial del fuego en los bosques de eucaliptos ha resultado en incendios forestales con la consiguiente pérdida de vidas y propiedades; la exclusión total del fuego derrotó su propia meta (Crane, 1972).

En Zambia, Ross (1976) comentó: “No hay ninguna duda de que las quemas controladas reducen el peligro de incendios y da mayores oportunidades para que sean controlados por los bomberos forestales.”

En un experimento que se desarrolló en la Empresa Forestal Integral “La Palma”, provincia Pinar del Río, Cuba, el objetivo general era evaluar el efecto de las quemas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques naturales de *Pinus tropicalis Morelet*. Para ellos se ubicaron cuatro parcelas de 1,000 m<sup>2</sup>. Una fue el testigo y en las restantes se aplicó quema. Para la obtención de los datos fueron colocados aleatoriamente cinco puntos de muestreo en cada parcela. Una semana antes, una después y al año de aplicada las quemas prescritas, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los datos se analizaron a través de pruebas de comparación de medias (ANOVA). Los resultados muestran un ligero aumento (no significativo) para el pH, el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fósforo cambiante), el Mg y el K (potasio asimilable), al año de efectuadas las quemas, por otra parte, disminuyeron no significativamente el K<sub>2</sub>O (cambiante), la materia orgánica (MO) y el Ca. Un año después de efectuada la quema aumenta significativamente el contenido de Na, disminuyendo significativamente la acidez hidrolítica y la capacidad de cambio catiónico a las dos profundidades antes y después de la quema. La relación entre los nutrientes del suelo se encuentra dentro de los rangos típicos de estos suelos pobres. (Martínez, Becerra, Ramos, Rodríguez, Castillo, Martínez, Bonilla, Vichot, Sotolongo, Sospedra.2004).

#### **5.1.4.1.1 Efectos del fuego sobre el recurso suelo**

Los efectos más relevantes que el fuego produce sobre el suelo, y que se analizaron con mayor detalle, son las modificaciones en las propiedades físicas y químicas, principalmente los cambios en la materia orgánica, acidez o pH, estabilidad estructural, porosidad y modificaciones en los nutrientes totales del suelo.

Según (Iglesias, 1993), la incidencia del fuego en el suelo modifica las propiedades físico-químicas y biológicas, de acuerdo con la intensidad y la duración del mismo. Cuando tiene lugar una repetición de incendios se degrada la estructura del suelo, se incrementa la erosionabilidad y disminuye la fertilidad, llevando los suelos a un nivel de pobreza nutritiva importante.

El pH del suelo es una de las propiedades químicas que se ven afectadas tras el paso del fuego. Su valor se incrementa debido a las cenizas procedentes del incendio, las cuales contienen gran cantidad de carbonato potásico ( $\text{CO}_3\text{K}_2$ ), que por proceder de un ácido débil y una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza, y por consiguiente se incrementa el pH. Sin embargo, cuando los efectos del lavado y arrastre de cationes por las lluvias son muy intensos, a los incrementos iniciales de pH tras el fuego pueden seguir fuertes descensos que logran alcanzar valores inferiores a los registrados antes del incendio o la quema (Martínez et al., 1991).

En cuanto a la materia orgánica del suelo (MOS), se considera que es un factor estabilizador de su estructura, ya que ayuda a mantener unidas las partículas minerales frente a las fuerzas desestabilizadoras, como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia (Shepherd et al., 2001). Se puede indicar que el fuego genera una disminución de los valores iniciales de materia orgánica cuando las temperaturas son superiores a los  $450^\circ\text{C}$  y se logra su combustión; sin embargo, en fuegos poco intensos se puede tener un efecto contrario por la

acumulación sobre el suelo del combustible forestal en forma de cenizas (Martínez et al., 1991).

Pero el fuego no sólo modifica la cantidad de la materia orgánica, también altera su calidad. Actúa como un agente que acelera las tasas de mineralización del carbono orgánico y además modifica las tasas de descomposición post incendio, ya que a medida que se incrementa la temperatura el humus sufre modificaciones que le hacen más resistente a la degradación microbiana (González et al., 2009). Esta materia orgánica carbonizada que se produce en grandes cantidades y se acumula en el suelo, puede contribuir en un 30-40% al carbono del suelo en ecosistemas propensos a incendios forestales y al secuestro de carbono a largo plazo, siendo un componente significativo en el ciclo global del carbono (Forbes et al., 2006).

Las propiedades físicas del suelo también se ven afectadas. Cuando el fuego destruye parte de la materia orgánica y elimina temporalmente la vegetación hace que se afecte su estabilidad estructural, ya que se debilitan los agregados, los cuales serán destruidos posteriormente por el impacto de las gotas de lluvia; al romperse la estructura del suelo se disminuye su capacidad de absorción de agua, con el consiguiente aumento de escorrentía superficial y la aparición de procesos erosivos (Martínez et al., 1991).

Sin embargo, en un estudio realizado por (Ahlstrom et al, 2008) se analizaron 15 muestras de cada sitio afectado por el fuego mediante la utilización de tamices de diverso diámetro. En los tamices distribuyeron los agregados, y a través del uso de placas de agitación y agua pudieron observar que no se presentó una diferencia notable en la estabilidad de los agregados bajo diferentes intensidades de fuego, y añadieron que se requerían mayores estudios para profundizar en este tema.

La porosidad es una de las propiedades físicas afectadas. El espacio creado por los poros controla el movimiento del agua y del aire en el suelo y debe haber un

equilibrio entre los macro poros (mayores a 0,6 mm de diámetro) y los micro poros (menores a 0,6 mm). Este equilibrio en el tamaño de los poros permite al terreno transferir tanto el agua y el aire rápidamente (a través de los macro poros) y retener el agua por capilaridad (en los micro poros). La acción del fuego sobre el suelo puede destruir su estructura y afectar principalmente los macro poros, los cuales son especialmente importantes para las vías de infiltración de agua y su posterior filtración hacia abajo a través del perfil del suelo, de ahí que se produzca más escorrentía superficial, lo que da lugar a ciertos procesos de erosión hídrica (Beyers et al., 2008).

(Vega et al, 2000) encuentran que los nutrientes totales de la cubierta orgánica del suelo se reducen para el nitrógeno hasta en un 30 %, y para los demás elementos hasta en un 50%, además, que los nutrientes totales se mineralizan instantáneamente, lixiviados y afectados por escorrentía, y una porción es adsorbida por el complejo de intercambio y por las raíces del sotobosque y arbolado. Para estos autores, los contenidos de materia orgánica y las relaciones carbono nitrógeno son poco afectados, pero el nitrógeno total presenta reducción y el pH se eleva. También encuentran aumentos de K, Mg, Ca intercambiable y P disponible, que se explican por el aporte de ceniza al suelo. Adicionalmente, al analizar el humus no encuentran cambios significativos, sin embargo su espesor se disminuye. Y en cuanto a la estructura de las arcillas, su textura se altera, y aumentan los procesos de lixiviación y escorrentía.

(López, 2006) afirma que la pérdida de suelo ocasiona empobrecimiento de nutrientes y muerte de organismos (pérdida de actividad biológica y ciclos biogeoquímicos). No obstante, sostiene que el fuego ayuda a la movilización de nutrientes y al control de plagas. Además, indica que los incendios de baja intensidad contribuyen a mantener el carbono del suelo, porque evitan su volatilización y pérdida en forma de gas carbónico.

Respecto a los cationes de cambio (K, Mg, Ca) en la solución del suelo, aumentan

considerablemente debido a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, al destruirse parte de la materia orgánica (Martínez et al., 1991). Dicho incremento de cationes se presenta de forma transitoria, ya que a mediano y largo plazo el suelo se vuelve a empobrecer por las pérdidas que tiene el lavado, lo que disminuye la capacidad del complejo adsorbente para retener nutrientes.

Al analizar los cationes de forma detallada, (Martínez et al, 1991) comentan que el potasio, el magnesio y el calcio experimentan incrementos tras el incendio de hasta cuatro veces sus valores iniciales; sin embargo el incremento del potasio desaparece rápidamente, y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores son similares a los iniciales, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores. Con respecto al magnesio y el calcio, el incremento observado inicialmente es todavía sensible a los dos años de presentado el incendio. El fósforo, por su parte, puede experimentar incrementos de hasta 5 a 10 veces sus valores iniciales, siendo también el nutriente que mantiene el aumento durante más tiempo, ya que a los dos años aún mantiene un 40% del incremento inicial.

Sin embargo, en el estudio realizado por (Afif y Oliveira, 2006), inmediatamente después del incendio y a los siete días, se observó a las profundidades estudiadas un leve aumento no significativo en el contenido de calcio y magnesio y casi ninguna variación en el contenido de sodio justo después del incendio. A los 30 y 90 días la concentración de dichos elementos disminuyó dando un balance final positivo en comparación con las concentraciones halladas antes del incendio.

En el estudio realizado por (Kutiel y Naveh, 1987) se analiza el efecto sobre los nutrientes del suelo tras un incendio de un bosque de pinos: se encuentra que el nitrógeno total disminuye en un 25%, pero las formas disponibles de nitrógeno son mucho más altas. El fósforo total se incrementa en un 300% después de ocurrido el fuego, pero disminuye de nuevo dos meses más tarde; también el P soluble en agua aumenta inicialmente y luego disminuye a los niveles de los suelos no

quemados. Igual comportamiento para la conductividad eléctrica y el pH, que aumentan inmediatamente después del fuego y luego se estabilizan de nuevo.

Yildiz (2009) indica adicionalmente que las pérdidas de los nutrientes por erosión varían con la distribución de la ceniza, la pendiente, la capacidad de infiltración del suelo después del incendio, y la cantidad y la duración de las lluvias posteriores. Se presentan incrementos iniciales en las concentraciones de nitrógeno y fósforo que pueden tener beneficios específicos para algunas especies de plantas, por el aumento de la disponibilidad a corto plazo de los nutrientes para su crecimiento.

De acuerdo con todos estos estudios realizados en diversos países sobre las afectaciones de los incendios forestales, se evidencia una degradación de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo como: pH, textura, ciclos de nutrientes, porosidad y materia orgánica, las cuales son importantes para el crecimiento de la vegetación nativa o existente en el lugar y para la estabilidad estructural del suelo. (Rosero y Osorio, 2013).

Aún, con la información disponible, el rol de este fenómeno para el mantenimiento de los sistemas naturales sigue siendo conflictivo. Es importante destacar que a pesar de un uso frecuente del fuego, se dispone de escasa información regional del efecto sobre el suelo, vegetación y el aire.

Por último, cabe destacar que los cambios en las propiedades del suelo y la variación de los resultados analíticos no pueden ser solamente atribuidos al incendio sino también al cambio de localización de las muestras de unas fechas a otras y a los cambios ambientales que se producen tras el mismo, ya que el incendio que afectó a la zona de estudio puede ser considerado de baja intensidad por la aparición de un alto porcentaje de restos parcialmente carbonizados (Marcos et al., 1999; Úbeda, 2001; De Luis et al., 2003).

## **5.1.4.2 Antecedentes a nivel Nacional**

### **5.1.4.2.1 Manejo de la sabana nativa**

Bajo las condiciones de explotación extensiva y totalmente extractiva de las sabanas, la quema es la única herramienta de manejo práctica y económica, pero debe realizarse en forma racional y controlada para mejorar la calidad nutricional del forraje y mantener una composición botánica favorable de las praderas naturales.

Los dos objetivos principales de la quema son el control de la maleza arbustiva y la destrucción del remanente herbáceo lenificado, para promover el rebrote del pasto, que es de mayor valor nutricional, más digerible y más apetecido por el ganado. Por otra parte, las cenizas provenientes de la quema, al reincorporarse rápidamente al ciclo biológico de los pastos, sirven como fuente de nutrimentos; también son fuente concentrada de minerales para los animales, que las consumen con avidez directamente del suelo; es por esto que durante los 3-4 días posteriores a una quema las heces están compuestas en alta proporción por cenizas.

La quema de la sabana permite aumentar las ganancias de peso, tanto por animal como por hectárea; ensayos realizados con cargas de 0.20 y 0.50 animales por hectárea (5, 3 y 2 ha por animal) muestran que en todos los casos las ganancias de peso en los lotes manejados con quema rotacional fueron superiores a los obtenidos en sabana sin quemar, donde se presentaron algunos casos de muerte de animales por hambre durante la época seca. (CIAT, 1983).

Es necesario conocer los aspectos básicos relacionados con la legislación o las directrices frente a los incendios forestales en Colombia, ya que su conocimiento está estrechamente relacionado con la prevención y la reducción de los efectos por este tipo de incidentes. En la actualidad se cuenta con las siguientes acciones:

De acuerdo con la Estrategia de Corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales, lineamiento del (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011a), los Incendios forestales permiten una serie de impactos económicos, sociales y ambientales, que se pretenden evitar con la disminución de la frecuencia de la presencia de estos eventos en el país, mediante el fomento de la cultura de la prevención, que consiste en la sensibilización, capacitación y divulgación de las causas y consecuencias de los incendios forestales. Según los lineamientos simplificados para elaboración de planes de contingencia municipales en incendios forestales (PCMSIF) del (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011b), todo incendio forestal que ocurra en un municipio se debe evaluar para valorar los daños e iniciar un proceso de restauración. Con respecto a la restauración se cuenta con el Protocolo de Restauración de Coberturas Vegetales afectadas por Incendios Forestales, documento elaborado por el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007), que constituye el primer paso para dar respuesta a las recomendaciones formuladas en el Plan Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales y Recuperación de Áreas afectadas (PNPCIFRA), sobre la necesidad de iniciar acciones de investigación orientadas a la determinación de los procedimientos, criterios e indicadores de evaluación y valoración de los impactos ambientales de los incendios forestales.

Los incendios forestales incrementan aún más la problemática respecto a la materia orgánica disponible en los suelos, ya que los efectos de fuegos intensos favorecen la disminución de sus valores iniciales, lo cual, sumado a la baja acumulación inicial de los suelos, los empobrecen en mayor medida. La materia orgánica es esencial para la fertilidad y la buena producción agropecuaria, ya que suelos sin materia orgánica son suelos pobres y de características físicas inadecuadas para el crecimiento de las plantas. Respecto a los elementos nutricionales, se ha podido observar que los incendios forestales pueden favorecer su disponibilidad, ya que según la mayoría de los estudios analizados, el suelo presenta un incremento de P, K, Mg y Ca por la adición de cenizas. Este incremento en los elementos nutritivos beneficia el desarrollo completo del ciclo

vegetativo de las plantas, sin embargo, se deben tomar acciones de protección en los suelos con el fin de evitar que estos aumentos iniciales de cationes de cambio se pierdan mediante la lixiviación que genera la acción de la lluvia.

Adicionalmente a todas estas afectaciones, se suma que obstaculizan las acciones de prevención y recuperación de los suelos afectados por incendios forestales: la actividad humana. En el país se cuenta con la Resolución 532 de 2005, emitida por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. Esta resolución dificulta la implementación de programas de manejo y recuperación de suelos al respaldar la realización de quemas, lo que incrementa la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales y sus afectaciones al recurso suelo.

Es necesario por tanto buscar mecanismos de prevención que propendan por una disminución de incendios forestales, a través de la implementación de incentivos y reglamentaciones de orden nacional, regional y local. Además se debe fortalecer el acompañamiento a la comunidad rural, mediante la implementación de programas de sensibilización y educación en la rotación de cultivos, manejo adecuado de plagas y enfermedades, fertilización y recuperación de los suelos.

Este tipo de estrategias permitirán fortalecer el componente rural, mediante la potenciación del recurso suelo, mejorando los ingresos y calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, se requieren acciones a mediano y largo plazo que busquen cambiar tradiciones culturales de quema e incendios por la implementación de nuevas tecnologías.

Las afectaciones del recurso suelo varían considerablemente de acuerdo con el pH, los nutrientes iniciales y las actividades biológicas. El fuego modifica su fertilidad al disminuir la acidez, afecta considerablemente el ciclo de nutrientes y

los procesos biológicos. También pueden verse afectadas las propiedades físicas como la porosidad y la estabilidad estructural, ya que se generan capas hidrofóbicas en los suelos y disminuye su capacidad de infiltración. A estas situaciones se suma el clima tropical del país que favorece la escorrentía superficial e incrementa la probabilidad de procesos erosivos y movimientos en masa una vez comienza la temporada de lluvias, lo cual contribuye a la destrucción del suelo.

En Colombia son pocos los estudios vinculados a las afectaciones de los suelos producto del calor irradiado por los incendios forestales. Se hace un análisis de la literatura y los estudios realizados a nivel mundial, en cuanto a los cambios químicos del suelo, las modificaciones en la porosidad, estructura y textura del suelo, las afectaciones biológicas y los cambios de la materia orgánica. Se considera que la ocurrencia de un incendio forestal genera afectaciones considerables en el pH, la estabilidad estructural, la porosidad, los ciclos de nutrientes y en la actividad biológica. A estas situaciones se suma la falta de lineamientos de orden nacional y regional, que permitan mejorar la evaluación del impacto ambiental y llevar a cabo acciones puntuales en cuanto a la restauración de los suelos afectados por los incendios forestales. (Rosero y Osorio, 2013).

(Camargo, 2012). En el año 2006 se incendió el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia, que afectó aproximadamente 2400 ha de ecosistema de páramo cerca de la laguna del Otún (4° 46' 58.4" N y 75° 24' 26.8" O). Teniendo en cuenta la posible afectación de algunos servicios eco sistémicos proveídos por el suelo y la necesidad de encontrar variables que puedan ser utilizadas como indicadores del estado de este recurso, se realizó una evaluación de las propiedades físicas y químicas de los suelos en áreas afectadas (AA) y no afectadas (NA) por el incendio. Las evaluaciones se tuvieron inmediatamente después del evento (2006), dos años (2008) y tres años (2009) después. Se incluyeron áreas donde se implementaron estrategias de restauración y dos posiciones en el relieve: valle (turberas) y laderas. Para identificar diferencias en

las características del suelo evaluadas entre sitios afectados y no-afectados, posiciones topográficas y los tratamientos de restauración, se hizo una prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis. Posteriormente, para verificar relaciones entre variables, se realizó un análisis de correlación usando el coeficiente de Spearman. En general, la posición de valle mostró los cambios más drásticos en el suelo a través del tiempo de evaluación. Allí, más del 50% de la materia orgánica se perdió, generando cambios también en algunas propiedades físicas como la densidad aparente y la estabilidad estructural, que después de tres años, y a pesar de las actividades de restauración, muestran evidentes problemas de degradación. Con los resultados obtenidos ha sido posible definir variables indicadoras de las condiciones del suelo, que podrían ser usadas en programas de monitoreo de este recurso. Así mismo, se evidencia que los procesos de restauración en este ecosistema son lentos y se requiere un tiempo prolongado para generar cambios positivos en las propiedades de los suelos afectados, que incluso superan el empleado en esta investigación. De esta manera, determinar el efecto de las estrategias de restauración y definir cuáles pueden ser las más apropiadas es de hecho un proceso que toma tiempo. Por tal razón, es imperativo evitar cualquier actividad o evento que genere deterioro sobre este ecosistema.

#### **5.1.4.2.2 Cambios en las propiedades químicas del suelo**

(Camargo, 2012). Cuando las comparaciones entre sitios se realizaron considerando solamente el efecto del incendio, todas las variables químicas analizadas presentaron cambios significativos ( $P < 0.05$ ) excepto el fósforo (P). A pesar de que el pH, en promedio, aumentó ligeramente para los suelos afectados, las bases mostraron valores más bajos ( $P < 0.05$ ) para estos sitios, siendo la saturación de bases sólo 35% del valor encontrado en sitios no-afectados por el incendio (28.9% vs. 10.2 %). Los efectos más drásticos se observan en la M.O. del suelo, que pasó de 31% para 12% después del incendio, tendencia que consecuentemente también se observó para N total y carbono orgánico (CO).

El Al, principal fuente de acidez en los suelos tropicales (Fassbender y Bornemisza, 1994; Sánchez, 1981), no mostró una relación definida con el pH, siendo mayor en las zonas afectadas y más bajo en las no-afectadas. Con relación a la posición en el relieve, este elemento tendió a ser más bajo en la posición valle, donde se observó un incremento más fuerte inmediatamente después del incendio, en el 2006. Los valores de saturación de Al son altos y en su mayoría > 30%, lo que muestra condiciones de alta acidez y concentración de este elemento en el complejo de cambio. Los valores fueron más altos para la posición de ladera, no obstante los cambios más severos se presentaron en la posición de valles. Esto se asocia probablemente con la disminución en la concentración de las bases, lo que hace más importante el peso del Al en el complejo de cambio del suelo. Los resultados son consistentes con estudios realizados en Ecuador en condiciones de páramo, donde, dependiendo de la disponibilidad de Al, el carbono orgánico estable alcanzó concentraciones superiores a 20% en complejos con Al y Fe (Podwojewski, 2006).

El calentamiento debido al fuego puede generar deshidroxilación de algunos minerales arcillosos y como resultado aumentar la concentración de Al, Si y Fe, aunque simultáneamente las cenizas pueden generar un incremento en el pH y en los cationes de cambio. Posteriormente, se puede presentar rehidroxilación de los minerales, lo que nuevamente altera considerablemente la dinámica química del suelo (Yusiharni y Gilkes 2010).

(Camargo, 2012). En general, los cationes que conforman las bases en el suelo (K, Ca, Mg y Na) tendieron a ser más altos ( $P < 0.05$ ) en las áreas no-afectadas por el incendio, y aunque la tendencia es a decrecer en las áreas afectadas, su nivel parece mantenerse estable. Este efecto fue más marcado en la posición valle, donde ocurrió una reducción a menos de 30% con respecto al valor inicial (de 18.5 cmol/ kg a 2.1 cmol/kg)

La C.I.C. está definida, en este caso, especialmente por la M.O. y la salida de

cationes como K, Ca, Mg y Na del complejo de cambio, haciendo más relevante el Al y aumentando la posibilidad de que los suelos sean más ácidos debido a la presencia de este elemento. Lo anterior se evidencia en la correlación significativa ( $P < 0.05$ ) hallada entre la M.O. y cada una de las bases; así como con Al, pero de manera inversa. (Camargo, 2012).

El P, uno de los elementos más dinámicos en el suelo después de eventos como los incendios, mostró un comportamiento distinto de acuerdo con la posición en el relieve. Para las posiciones de valle se observó una ligera tendencia a incrementar luego del incendio, lo que puede estar asociado con la mineralización de la M.O. en el momento de la quema. Sin embargo, se redujo para los años siguientes hasta llegar a su valor más bajo en el último año de monitoreo (2009). En las posiciones de ladera luego del incendio (2006) se observaron valores más altos de P que en las posiciones valle, no obstante el comportamiento fue totalmente decreciente y pasó de valores superiores a 20 mg/kg, en promedio, a menos de 5 mg/kg. (Camargo, 2012).

(Camargo, 2012). Los cambios observados en las propiedades químicas de los suelos son consistentes con los encontrados por (Mills 2006), quien determinó que después de un incendio las propiedades que resultan más afectadas y muestran una mayor sensibilidad son la M.O. y la C.I.C., por lo cual pueden ser utilizadas como posibles indicadores de degradación del suelo.

#### **5.1.4.2.3 Cambios en las propiedades físicas del suelo**

(Camargo, 2012). Cuando las variables se analizaron considerando la posición en el relieve y los años después del incendio, se observa que la D.A. fue menor ( $P < 0.05$ ) en las posiciones valle donde se evidenciaron los cambios más contrastantes. La tendencia fue a incrementar luego del incendio con cambios más fuertes en 2006 y 2008.

El comportamiento de la D.A. respondió a los cambios mostrados en la M.O., siendo más alta ( $P < 0.05$ ) a medida que la M.O. disminuyó, lo que se corrobora con el análisis de correlación ( $R = -0.66$ ). La densidad real (D.R.) presentó un comportamiento menos dinámico y solamente se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en la posición de valle con suelos no-afectados, donde fue menor que en los demás sitios. La porosidad total presentó valores más altos ( $P < 0.05$ ) en las posiciones valle, con una tendencia decreciente después del incendio, equivalente a 17% menos entre 2006 y 2009. En la posición de ladera, el contraste fue menor, aunque también con tendencia decreciente.

Los efectos más severos luego del fuego se observaron especialmente en la superficie del suelo donde las texturas tienden a ser más gruesas (Ketterings et al., 2000). Por otra parte, el aumento de la temperatura puede incrementar la hidrofobicidad, reducir la capacidad del suelo de absorber agua y aumentar la susceptibilidad a la erosión (Certini, 2005).

Los valores de humedades gravimétrica y volumétrica del suelo son indicativos de la alta capacidad de retención de agua. En el caso de la primera, de hecho los valores estuvieron por encima de 100% en las tensiones más bajas. No obstante, esta capacidad fue reducida ( $P < 0.05$ ) luego del incendio, especialmente en las posiciones valle.

El efecto del incendio en la zona Parque Nacional Natural de Los Nevados fue considerablemente negativo, lo cual es evidente en los cambios en las propiedades evaluadas y la vulnerabilidad del suelo a la degradación. Cuando se pierde la cobertura vegetal, las superficies desnudas se hacen altamente repelentes al agua, se incrementan la escorrentía, los agregados repelentes al agua flotan y aumenta la erosión, cambios que van acompañados de degradación de la estructura y pérdida de la M.O. (Podwojewski, 2006). La baja densidad encontrada en el estudio hace el suelo más susceptible a la erosión, debido a que sus partículas se hacen repelentes y flotan en el agua de escorrentía,

(Poulenard et al., 2001).

#### **5.1.4.3 Antecedentes a nivel Departamental**

En la región del Vichada, principalmente en el municipio de Cumaribo y La Primavera, la topografía se caracteriza por terrenos con escasa pendiente y desagües limitados. Parte de la producción ganadera se desarrolla en pastizales que permanecen inundados por largo tiempo durante el año, lo que provoca un crecimiento rápido de especies de muy baja calidad, como pajonales y ciperáceas. Esta baja calidad ocasiona la acumulación de una cantidad importante de materia seca no aprovechada por el ganado vacuno, lanar o equino debido a su escaso valor nutritivo. Una estrategia de manejo es la utilización del fuego como una herramienta de manejo (Pizzio et al. 1999).

(Sánchez, 2015). Actualmente el estudio de los incendios de bosques y sabanas naturales, su influencia en el ciclo del carbono a escala local, su papel ecológico y las consecuencias de las alteraciones de la masa orgánica del suelo por efecto del fuego, son una línea de investigación, a la que se presta atención en todo el mundo en el contexto del calentamiento global. El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es un Indicador biofísico para la desertificación y para la toma de decisiones respecto de alertas a posibles procesos de degradación y de la necesidad de regular el manejo del fuego, éste trabajo indaga sobre la variación del COS, en un periodo de tiempo de siete meses, entre la época seca y la época de lluvias. En función de las quemas en una interface ecológica en bordes de Sabana-Bosque de Galería. El diseño experimental, permitió identificar tendencias en el cambio de COS, en la interface del borde Sabana-Bosque de Galería. El tiempo transcurrido entre los muestreos, siete meses, constituye la variable que indicó cambio, tendiendo a la disminución en las concentraciones de COS, no obstante, el impacto de la quema, en el inicio del experimento de campo, no indicó ser un factor decisivo del cambio del COS. Los análisis “no paramétricos”, fueron la herramienta metodológica para interpretar los resultados del experimento, sobre

las tendencias observadas. Se espera que el esfuerzo de ejecución del presente experimento, con quemas controladas y sus resultados, sea un aporte en el estudio de la incidencia e impacto del fuego, en los flujos y el stock del carbono orgánico del suelo, en el sistema complejo y heterogéneo del suelo en la interface sabana-bosque de galería, en la Altillanura colombiana.

Se estudiaron, en parcelas experimentales de la región de Marandúa (Vichada, Colombia), los cambios que sufre la comunidad edafo faunística cuando el suelo es sometido a la acción del fuego. Los grupos taxonómicos, en términos generales, aumentan (39%) a causa de la quema; las clases Insecta, Arachnida y Oligochaeta se registraron durante los 16 meses de experimentación y bajo los 3 tratamientos aplicados (no quema, quema y quema recurrente); la clase Insecta presentó el mayor incremento de órdenes con cada una de las quemas. El número de individuos disminuyó en un 55% como consecuencia de la primera quema, pero se recuperó e incrementó variedad, durante los 10 meses siguientes a ésta. (Chamorro y Soto, 1984).

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes profundidades después de la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los efectos producidos en las propiedades físicas del suelo a diferentes profundidades, luego de ser sometido a una quema controlada de vegetación.
- Cuantificar los efectos producidos en las propiedades químicas del suelo a diferentes profundidades, luego de ser sometido a una quema controlada de vegetación.
- Identificar cuáles propiedades del suelo son las que presentan mayores cambios en los dos tipos de manejo

## 7. MÉTODO Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### 7.1 SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA

#### 7.1.1. Enfoque de la investigación

Este proyecto se ubica dentro del enfoque cuantitativo porque busca describir, analizar y experimentar sobre los hechos y fenómenos objetos del estudio que rodean al problema detectado, Tipo de Investigación: Experimental porque es aquella investigación en la que el investigador produce las condiciones en las que se va a observar la conducta de una variable con control total de las demás variables.

### 7.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Figura 1. Municipio de Cumaribo, departamento del Vichada



Fuente: Internet

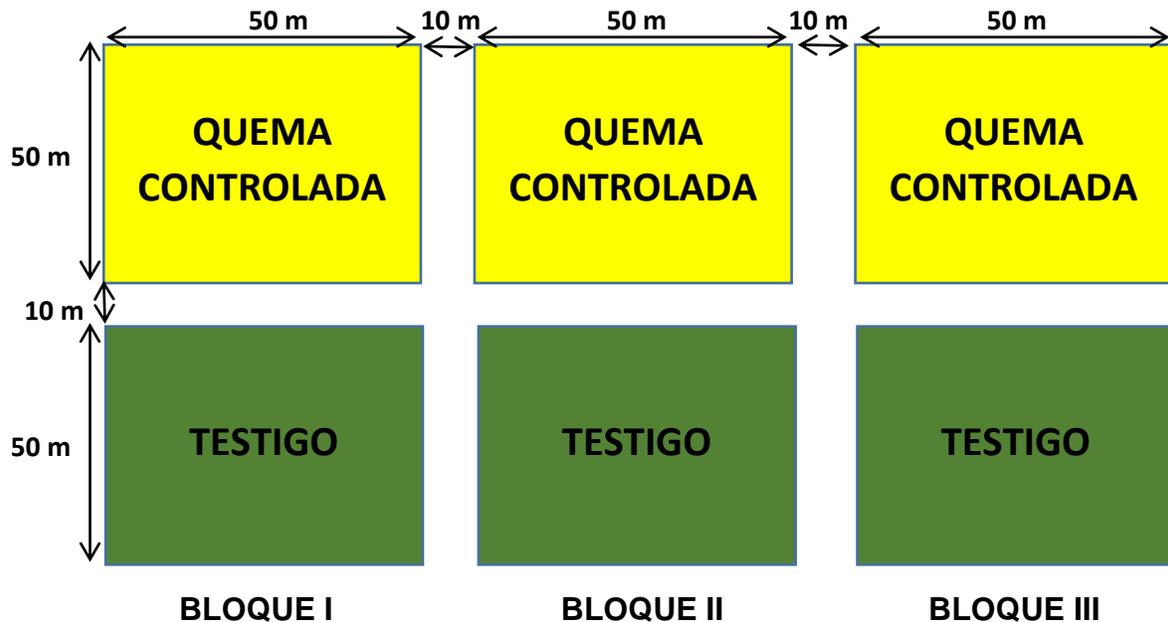
#### Posición geográfica del municipio

- 06°11' 06" Latitud Norte
- 67°28'23" Longitud Oeste
- Área: 65.193 km<sup>2</sup>
- Altitud: 125 m.s.n.m
- Precipitación: 2.176 mm anuales
- Temperatura: 28°C

El estudio se realizó en la finca del señor Manuel Chipiaje habitante de la comunidad indígena Sikvani de Cumariana, la cual tiene alrededor de 34 familias y 280 habitantes, Cumariana hace parte del resguardo Aiwa-Kuna-Tspajibo, que consta de 26 comunidades y que tiene 62.552 hectáreas de extensión. Se encuentra ubicada a 5 kilómetros del casco urbano del municipio de Cumaribo, éste es el municipio de mayor extensión en Colombia y el mundo con un área aproximada de 65.193 Km<sup>2</sup>, (Ver figura 1). Se ubica en el oriente de Colombia en el departamento del Vichada. Limitado por el norte con los municipios de Santa Rosalía, La Primavera y Puerto Carreño, Vichada, cuyo límite lo determina el río Tomo; por el sur limita con el departamento del Guaviare demarcado por el río del mismo nombre; al Oriente limita con la Republica de Venezuela limite determinado por el río Orinoco, y por el occidente limita con el departamento del Meta, está situado en la confluencia de los ríos Meta y Orinoco a 06°11' 6" de latitud Norte y 67°28'23" de longitud Oeste; con una altitud de 125 msnm, precipitación promedio anual para esta localidad es de 2.176 mm y con una temperatura promedio anual de 28°C, (IGAC, 1996).

Las principales actividades de los habitantes de Cumariana son la agricultura de auto consumo, sus conucos (áreas de cultivo) obedecen al sistema rotativo de tumba, quema y siembra, en ellos se siembran yuca brava (*Manihot sculenta*) y yuca dulce (*Manihot sculenta*), Plátano (*Musa paradisiaca*), Maíz (*Zea mays*), batata (*Ipomoea batatas*), mapuey (*Dioscorea trifida*), ají (*Capsicum annuum*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y arroz (*Oriza sativa*), entre otros. Por la conformación del relieve y su ubicación, el clima es cálido y seco, con temperaturas que oscilan entre los 27 °C y los 30 °C.

**Figura 2. Diseño de las Unidades Experimentales (Diseño en Bloques al Azar)**



Las muestras de suelos se tomaron en las 6 unidades experimentales 1 hora antes de la quema controlada de vegetación a profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm y a los 30 días después de la quema controlada de vegetación a profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm.

El experimento se realizó entre el 20 del mes de Noviembre al 29 del mes de Diciembre del 2015. Para la selección del sitio se tuvo en cuenta criterios como la uniformidad de la pendiente, tanto para los Manejos como para el testigo, también que todo el área presentara la misma cobertura vegetal, que el terreno no haya sido quemado anteriormente, además se encuentra en una posición excepcional porque queda retirado de las otras malocas o casas de los demás indígenas de la comunidad los cuales realizaron quemas en la misma época de la investigación.

Se utilizó un DBA (Diseño en Bloques al Azar) con un arreglo factorial  $2^3$  (2 Momentos de toma de datos: 1 hora antes de la quema y a los 30 días después de la quema; 2 Manejos: Con quema y Sin quema; 2 Profundidades: (0-10) cm y (10-20) cm.) con 3 repeticiones, se utilizaron 6 Unidades Experimentales en forma de cuadro con 50 m de lado cada una ( $2.500 \text{ m}^2$ ) y una distancia entre calles de 10 metros, (Ver Figura 2).

De los cuales se tomarán muestras de suelos a 2 profundidades: (0-10) cm y (10-20) cm de profundidad para realizar los análisis físico químicos del suelo por ser ésta profundidad la más afectada por el fuego y donde se producen los principales cambios (Luchéis, 1994; Marcos, 1999; Úbeda, 2001).

El modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + M_j + J_k + P_l + (MJ)_{jk} + (MP)_{jl} + (JP)_{kl} + E_{ijkl}$$

**Donde:**

$Y_{ijkl}$  Valor del i-ésimo Bloque (repetición), j-ésimo nivel del factor Momento, k-ésimo nivel del factor Manejo y l-ésimo nivel del factor Profundidad.

$\mu$  Media general

$B_i$  Efecto de i-ésimo Bloque (repetición)

$M_j$  Efecto de j-ésimo nivel del factor Momento

$J_k$  Efecto de k-ésimo nivel del factor Manejo

$P_l$  Efecto de l-ésimo nivel del factor Profundidad

$(MJ)_{jk}$  Efecto de interacción Momento x Manejo

$(MP)_{jl}$  Efecto de interacción Momento x Profundidad

$(JP)_{kl}$  Efecto de interacción Manejo x Profundidad

$E_{ijkl}$  Error aleatorio

En el sitio seleccionado se realizó una calicata de 70 cm x 70 cm y 80 cm de profundidad para observar el perfil del suelo.

Las muestras se tomaron con un Palín en un recorrido zig-zag, evitando los límites de la parcela, con el fin de tener una muestra representativa compuesta por la homogenización de 5 muestras simples de unos 1000 g cada una de ellas para cada profundidad. Las muestras de suelo se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron, trituraron suavemente y se enviaron al laboratorio 1.000 gm de suelo (12 muestras de suelos antes de la quema y luego otras 12

muestras a los 30 días después de la quema) para sus respectivos análisis físicos y químicos.

Como combustible para las quemas se utilizaron las plantas u hojas secas de las especies nativas del lote; que es el material vegetal que predomina en la zona seleccionada, el tiempo para la quema de los sitios seleccionados fue de 20 minutos aproximadamente según la vegetación seca presente pero fue homogénea para toda el área de estudio.

### 7.3 PARÁMETROS EVALUADOS Y LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS EN EL LABORATORIO

Tipo de Análisis	Método
<b>Propiedades Físicas</b>	
(% Arena)	Hidrómetro de Bouyoucos – Densimétrico.
(%Limo)	Hidrómetro de Bouyoucos – Densimétrico.
(% Arcilla)	Hidrómetro de Bouyoucos – Densimétrico.
pH (1:1)	Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1.
<b>Propiedades Químicas</b>	
Al (Meq/100 gm de suelo)	Extracción con cloruro de potasio 1M y cuantificación por volumetría.
% S.A.I	Extracción con cloruro de potasio 1M y titulación con Hidróxido de Sodio 0.1 N.
CIC	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 – Volumétrico cuantificación por volumetría.
Carbono Orgánico	Walkley-Black –y cuantificación por volumetría.
P (Ppm)	Extracción con solución Bray II y cuantificación por Espectrofotometría en el rango visible.
K (Meq/100 gm de suelo)	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción emisión atómica.
Ca (Meq/100 gm de suelo)	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y

	cuantificación por absorción emisión atómica.
Mg (Meq/100 gm de suelo)	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción emisión atómica.
Na (Meq/100 gm de suelo)	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción emisión atómica.
Bases Totales	Extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción emisión atómica.
Saturación de Bases	$\% \text{ S.B} = \frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}}{\text{CIC}} \times 100$

En todos los casos, los métodos de laboratorio utilizados para el análisis de suelos del presente trabajo de investigación fueron los empleados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de uso normal en nuestro país.

Los sitios quemados al igual que el sitio testigo fueron marcados para tenerlos identificados y realizar observaciones para registrar los posibles cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo.

La precipitación registrada total registrada para el período considerado en el estudio fue de 44 mm, la temperatura promedio más alta fue de 31°C y la temperatura promedio más baja fue de 23°C. La temperatura y precipitación durante los meses de Noviembre y Diciembre del 2015, (Ver Anexos 1 y 2).

#### **7.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

La información obtenida se organizó en una hoja de Excel, luego se exportó al programa estadístico S.A.S (Sistema de Análisis Estadístico) versión 7.0, las variables se evaluaron a través de la técnica de Análisis de Varianza y los promedios se compararon a través de la prueba de Tukey al 5%.

## 8. RESULTADOS

En el presente capítulo inicialmente se presentan los resultados del estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo producidos por la quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, departamento del Vichada, en el período comprendido entre el mes de Noviembre y el mes de Diciembre del 2015 y finalmente se realiza la discusión de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación.

Los resultados de la textura se presentan en la Tabla 1, los resultados de los nutrientes del suelo se presentan en la Tabla 2 y los resultados de la Acidez y la CIC se presentan en la Tabla 3. Esta forma de agrupación se realizó con el fin de facilitar la observación de la información y su posterior análisis y discusión de resultados.

Los estudios del porcentaje de arena, arcilla y limo del suelo encontraron que el porcentaje de arena disminuyó significativamente pasando de 59,32% a 56,66% ( $P < 0,05$ ) y el porcentaje de arcilla aumento significativamente pasando de 13,37% a 15,61% ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, el porcentaje de arcilla disminuyó significativamente pasando de 15,42% a 13,55% ( $P < 0,05$ ) después de la quema en el Factor Manejo, para el porcentaje de arena se observa aumento de 56,25% a 57,96/% a profundidad de 0–10 cm y disminución de 62,38% a 55,35% a profundidad de 10–20 cm ( $P < 0,01$ ) y para el porcentaje de arcilla hay disminución de 15,02% a 13,53% a la profundidad de 0–10 cm y aumento de 11,72% a 17,68% a profundidad de 10–20 cm ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad, (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Características de la Textura del suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.**

FUENTE DE VARIACIÓN	CATEGORIA	TEXTURA		
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %
<b>ANALISIS PARA:</b>				
<b>MOMENTO</b> Antes de la quema 30 días después	AQ	59,32 a	28,07 a	13,37 b
	30 DDQ	56,66 b	27,62 a	15,61 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0332 *</b>	0,6457 N.S	<b>0,0205 *</b>
<b>MANEJO</b> Sin quema Con quema	SIN QUEMA	56,88 a	28,32 a	15,42 a
	CON QUEMA	59,09 a	27,36 a	13,55 b
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,0704 N.S	0,3295 N.S	<b>0,0469 *</b>
<b>PROFUNDIDAD</b> 0-10 cm 10-20 cm	0-10 CM	57,11 a	28,62 a	14,27 a
	10-20 CM	58,87 a	27,07 a	14,70 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,1417 N.S</b>	<b>0,1269 N.S</b>	<b>0,6306 N.S</b>
<b>MOMENTO</b> X <b>MANEJO</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,1189 N.S</b>	<b>0,9727 N.S</b>	<b>0,2778 N.S</b>
<b>MOMENTO</b> X <b>PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0015 **</b>	0,8243 N.S	<b>0,0006 **</b>
<b>MANEJO</b> X <b>PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,5700 N.S</b>	<b>0,3805 N.S</b>	<b>0,6306 N.S</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	=	0,7420	0,4978	0,6851
<b>S<sub>n-1</sub></b>	=	2,7766	2,3493	2,1208
<b>CV</b>	=	4,8 %	8,4 %	14,6 %

No presenta diferencias significativas: N.S:  
Diferencias significativas (P<0,05): \*  
Diferencias altamente significativas (P<0,01): \*\*  
Prueba de Tukey 5%

**Fuente: El Autor basada en 24 resultados de análisis químicos de suelos.**

Para los nutrientes del suelo se observa que el valor de P tuvo disminución altamente significativa pasando de 0,63 ppm a 0,15 ppm ( $P < 0,01$ ) y el valor de K tuvo aumento altamente significativo pasando de 0,02 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,03 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ), a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, el porcentaje de C.O presentó disminución significativa pasando de 1,39% a 1,04% ( $P < 0,05$ ) después de la quema para el Factor Manejo, el contenido de K tuvo una disminución altamente significativa pasando de 0,04 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,02 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a profundidad de 10-20 cm en el Factor Profundidad, el porcentaje de C.O indicó disminución de 1,43% a 1,07% en la profundidad de 0-10 cm y aumento de 0,84% a 1,50% en la profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad y el contenido de P mostró aumento de 0,25 ppm a 0,71 ppm en la profundidad de 0-10 cm y disminución de 0,41 ppm a 0,23 ppm ( $P < 0,05$ ) en profundidad de 10-20 cm después de la quema en la relación Manejo x Profundidad, (Ver Tabla 2).

El contenido de Ca registró aumento altamente significativo pasando de 0,10 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,18 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) y el contenido de Mg presentó aumento significativo de 0,0158 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,0250 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 2).

**Tabla 2. Características de los nutrientes del suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.**

		ELEMENTOS QUÍMICOS								
FUENTE DE VARIACIÓN	CATEGORIA	CO %	P (ppm)	K Meq.100g -1	Ca Meq.100g -1	Mg Meq.100g -1	Na Meq.100g -1	B.T Meq.100g -1	S.B %	Ca/Mg relación
<b>ANÁLISIS PARA:</b>										
<b>MOMENTO</b> Antes de la quema 30 días después	AQ	1,14 a	0,63 a	0,02 b	0,10 b	0,0158 b	0,10 a	0,23 a	5,50 a	6,903 a
	30 DDQ	1,29 a	0,15 b	0,03 a	0,18 a	0,0250 a	0,06 a	0,30 a	6,83 a	8,360 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,3103 N.S	<b>0,0020 **</b>	<b>0,0018 **</b>	<b>0,0007 **</b>	<b>0,0419 *</b>	0,2636 N.S	0,0745 N.S	0,2036 N.S	0,2749 N.S
<b>MANEJO</b> Sin quema Con quema	SIN QUEMA	1,39 a	0,32 a	0,03 a	0,14 a	0,02 a	0,09 a	0,28 a	5,15 a	6,783 a
	CON QUEMA	1,04 b	0,47 a	0,03 a	0,14 a	0,02 a	0,07 a	0,26 a	7,18 a	8,479 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0256 *</b>	0,2394 N.S	0,7750 N.S	<b>1,0000 N.S</b>	<b>0,3281 N.S</b>	<b>0,5038 N.S</b>	<b>0,5607 N.S</b>	<b>0,0603 N.S</b>	<b>0,2069 N.S</b>
<b>PROFUNDIDAD</b> 0-10 cm 10-20 cm	0-10 CM	1,25 a	0,48 a	0,04 a	0,14 a	0,02 a	0,10 a	0,30 a	5,90 a	6,500 a
	10-20 CM	1,17 a	0,31 a	0,02 b	0,14 a	0,02 a	0,06 a	0,24 a	6,43 a	8,763 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,5718 N.S	0,1575 N.S	<b>0,0002 **</b>	<b>0,8690 N.S</b>	<b>0,3281 N.S</b>	<b>0,2636 N.S</b>	<b>0,1726 N.S</b>	<b>0,6000 N.S</b>	<b>0,0988 N.S</b>
<b>MOMENTO X MANEJO</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,9353 N.S</b>	<b>0,4955 N.S</b>	<b>0,7750 N.S</b>	<b>0,2928 N.S</b>	<b>0,8425 N.S</b>	<b>0,4014 N.S</b>	<b>0,9827 N.S</b>	<b>0,4380 N.S</b>	<b>0,4481 N.S</b>
<b>MOMENTO X PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0026 **</b>	0,2651 N.S	0,1661 N.S	<b>0,8048 N.S</b>	<b>0,3281 N.S</b>	<b>0,7923 N.S</b>	<b>0,9482 N.S</b>	<b>0,5326 N.S</b>	<b>0,4796 N.S</b>
<b>MANEJO X PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,2261 N.S	<b>0,0203 *</b>	0,7750 N.S	<b>1,0000 N.S</b>	<b>0,5532 N.S</b>	<b>0,9300 N.S</b>	<b>0,9827 N.S</b>	<b>0,8830 N.S</b>	<b>0,3670 N.S</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	=	0,6141	0,7233	0,7424	0,5838	0,3873	0,2756	0,2923	0,3404	0,3606
<b>S<sub>n-1</sub></b>	=	0,3460	0,2963	0,0070	0,0487	0,0101	0,0685	0,0926	2,4540	3,1489
<b>CV</b>	=	28,6 %	74,0 %	24,4 %	34,8 %	49,4 %	86,1 %	34,5 %	39,8 %	41,3 %

No presenta diferencias significativas: N.S:  
 Diferencias significativas (P<0,05): \*  
 Diferencias altamente significativas (P<0,01): \*\*  
 Prueba de Tukey 5%

**Fuente: El Autor basada en 24 resultados de análisis químicos de suelos.**

El valor de pH mostró aumento significativo de 4,91 a 5,00 unidades ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema y el contenido de Al presentó aumento altamente significativo pasando de 0,77 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,22 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema para el Factor Momento, el contenido del Al presentó disminución significativa de 1,04 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,95 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,05$ ) mientras que el valor de la CIC mostró disminución altamente significativa pasando de 5,54 Meq.100g<sup>-1</sup> a 3,70 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,05$ ) después de la quema para el Factor Manejo, el valor de pH evidenció aumento significativo cambiando de 4,91 unidades a 5,00 unidades ( $P < 0,05$ ), el contenido de Al mostró disminución altamente significativa de 1,15 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,84 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) y la cantidad de CIC tuvo reducción altamente significativa pasando de 5,22 Meq.100g<sup>-1</sup> a 4,02 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a profundidad de 10-20 cm en el Factor Profundidad. El contenido de Al presentó aumento de 0,89 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,42 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidad de 0-10 cm y aumento de 0,65 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,02 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad, (Ver Tabla 3).

**Tabla 3. Características de la Acidez y la C.I.C del Suelo a profundidades entre (0-10) cm y (10-20) cm, antes y después de ser sometido a una quema controlada de vegetación en el municipio de Cumaribo, Departamento del Vichada. Semestre II, 2015.**

FUENTE DE VARIACIÓN	CATEGORIA	ACIDEZ			
		pH Relación 1:1	Al Meq.100g <sup>-1</sup>	S.A.I %	CIC Meq.100g <sup>-1</sup>
<b>ANALISIS PARA:</b>					
<b>MOMENTO</b> Antes de la quema 30 Días Después	ANTES DE LA QUEMA	4,91 b	0,77 b	75,29 a	4,40 a
	30 DIAS DESPUES DE LA QUEMA	5,00 a	1,22 a	80,17 a	4,84 a
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0330 *</b>	<b>0,0001 **</b>	0,1439 N.S	0,2502 N.S
<b>MANEJO</b> Sin quema Con quema	SIN QUEMA	4,97 a	1,04 a	78,49 a	5,54 a
	CON QUEMA	4,94 a	0,95 b	76,97 a	3,70 b
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,5315 N.S	<b>0,0287 *</b>	0,6376 N.S	<b>0,0002 **</b>
<b>PROFUNDIDAD</b> 0-10 cm 10-20 cm	0-10 CM	4,91 b	1,15 a	77,57 a	5,22 a
	10-20 CM	5,00 a	0,84 b	77,89 a	4,02 b
	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,0330 *</b>	<b>0,0001 **</b>	0,9198 N.S	<b>0,0051 **</b>
<b>MOMENTO X MANEJO</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,1557 N.S</b>	<b>0,2123 N.S</b>	<b>0,6123 N.S</b>	<b>0,4167 N.S</b>
<b>MOMENTO X PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	0,0738 N.S	<b>0,0377 *</b>	0,5098 N.S	0,3259 N.S
<b>MANEJO X PROFUNDIDAD</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>	<b>0,1557 N.S</b>	<b>0,6162 N.S</b>	<b>0,4296 N.S</b>	<b>0,4167 N.S</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	=	0,6389	0,9424	0,2518	0,7253
<b>S<sub>n-1</sub></b>	=	0,0956	0,0877	7,7699	0,9044
<b>CV</b>	=	1,9 %	8,8 %	10,0 %	19,6 %

No presenta diferencias significativas: N.S:  
Diferencias significativas (P<0,05): \*  
Diferencias altamente significativas (P<0,01): \*\*  
Prueba de Tukey 5%

**Fuente: El Autor basada en 24 resultados de análisis químicos de suelos.**

## **9. DISCUSION**

### **9.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO QUE PRESENTARON CAMBIOS DESPUÉS DE LA QUEMA PRESCRITA CONTROLADA DE VEGETACIÓN.**

#### **9.1.1 Propiedades Físicas**

##### **9.1.1.1 Análisis en función de la Textura**

Este es uno de los temas de los cuales el agricultor e inclusive los expertos no lo han tenido muy en cuenta al momento de aplicar fertilizantes o realizar quemas controladas de vegetación. Las propiedades físicas del suelo tienen la responsabilidad del transporte del aire, del calor, del agua y de las sustancias solubles a través del suelo. Actualmente existen 12 clases o tipos de textura y en la zona de estudios debido a los diferentes manejos que se le da al suelo, hace que se presenten diferentes texturas dentro de la misma región.

Por tal razón, al manejo de las propiedades físicas del suelo se le ha dado por lo general menor importancia que el manejo de las propiedades químicas del suelo.

Las propiedades físicas del suelo, especialmente la textura sufren ciertos cambios, los suelos con textura Franco Arenosa (FA) parecen ser los más sensibles a la exposición del calor ya que ocurren diferencias significativas en particular en las fracciones de Arena y Arcilla, (Lal and Akinremi, 1983).

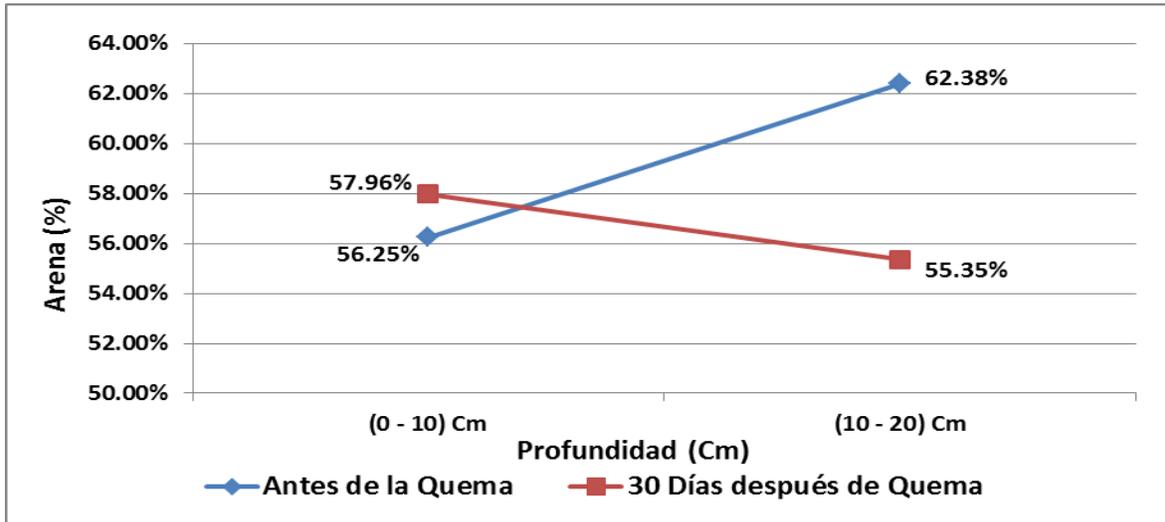
El porcentaje de Arena disminuyó significativamente pasando de 59,32% a 56,66% ( $P < 0,05$ ) y el porcentaje de Arcilla aumento significativamente pasando de

13,37% a 15,61% ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 1). Esto se debe a que el suelo sufre un proceso de compactación al reducirse los poros y ser ocupados por partículas desagregadas más finas causadas por la temperatura de la quema y las gotas de agua al caer en un suelo desprotegido de vegetación, por estos cambios el suelo puede llegar a tener consecuencias graves de compactación a mediano plazo.

El porcentaje de Arcilla disminuyó significativamente pasando de 15,42% a 13,55% ( $P < 0,05$ ) después de la quema en el Factor Manejo, (Ver Tabla 1). La degradación del suelo también es causada principalmente por la combustión de la Materia Orgánica como consecuencia de las quemas de vegetación la cual produce cambios estructurales en las propiedades físicas del suelo, la alteración de los agregados que aglutina o une la MO conlleva a pérdidas de partículas finas como las de Limo y Arcilla las cuales se terminan de dispersar por la lluvia, el viento y otros factores externos a otros lugares de la superficie o a otros horizontes del suelo formando capas impermeables.

Para el porcentaje de Arena se observa aumento de 56,25% a 57,96% a profundidad de 0–10 cm y disminución de 62,38% a 55,35% a profundidad de 10–20 cm ( $P < 0,01$ ), (Ver Figura 3) y para el porcentaje de arcilla presentó disminución de 15,02% a 13,53% a la profundidad de 0–10 cm y aumento de 11,72% a 17,68% a profundidad de 10–20 cm ( $P < 0,01$ ), (Ver Figura 4) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad. Los suelos Franco arenosos son susceptibles en las fracciones de Arena y Arcilla. (Lal and Akinremi, 1983).

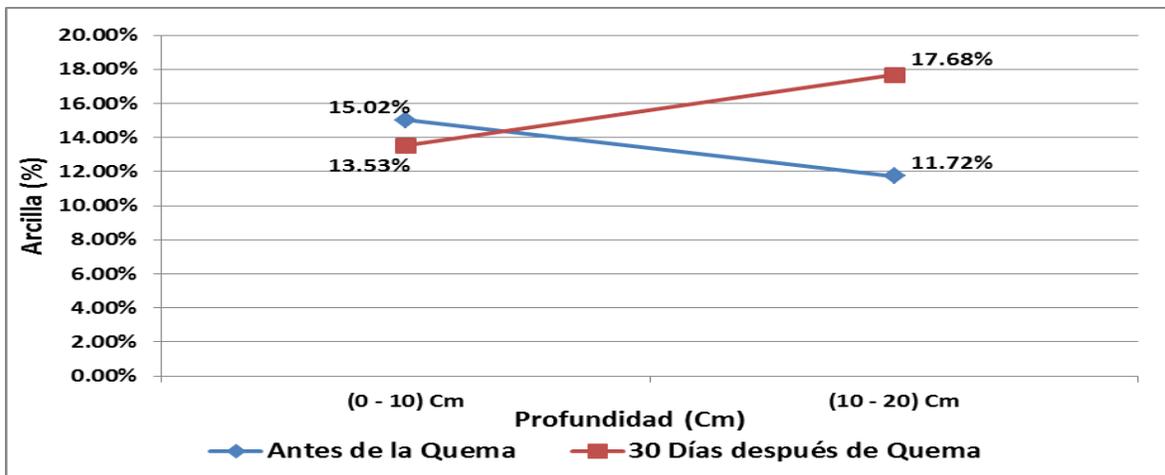
**Figura 3. Interacción entre el Momento de quema y la Profundidad sobre el contenido de Arena. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.**



El porcentaje de Arena aumentó en la profundidad de 0-10 cm, porque los agregados se rompen por causa de la lluvia y el material más fino (Arcilla y Limo) se desplaza a otros lugares por acción del agua y el viento.

El porcentaje de Arena disminuyó en la profundidad de 10-20 cm, porque los poros son ocupados por partículas desagregadas más finas con consecuente compactación.

**Figura 4. Interacción entre el momento de quema y la profundidad sobre el contenido de Arcilla. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.**



El Porcentaje de Arcilla disminuyó en la profundidad de 0-10 cm, por causa de la ruptura de los agregados y el desplazamiento de las partículas más finas a otros lugares, por acción del agua y el viento.

El Porcentaje de Arcilla aumentó en la profundidad de 10-20 cm, porque las partículas finas desagregadas ocuparon los poros al ser lixiviados y transportados al interior del suelo por acción del agua o de otros agentes externos.

Si bien, la textura del suelo no cambia a después de la quema, se debe a que la textura del suelo es un permanente y atributo natural del suelo (Hillel, 1982). Esto sugiere que la clase textural de un suelo en particular no puede ser necesariamente cambiada aún si hay cambios en el manejo del suelo. Sí se presentaron algunos cambios en los porcentajes de Arena y de Arcilla que podrían ser altamente significativos y cambiar la clase textural si se continúan con las quemadas a través de los años porque hay una reducción en el tamaño y la estabilidad de los agregados. (Giovannini, 1988), (Wuest et al, 2005) y (Hubbert, 2006).

De acuerdo con (Flores y Benavides, 2009). La intensidad del fuego y el tiempo de exposición al calor del suelo mineral definen el grado de respuesta de las propiedades del suelo. De esta forma, los efectos específicos del fuego en el suelo pueden variar exponencialmente.

Se sabe que eventos de fuego en ecosistemas forestales pueden modificar drásticamente la estructura de las arcillas y por ende su mineralogía. Esta alteración es más evidente cerca de la superficie del suelo (Reynard-Callanan et al, 2010).

Además, debe considerarse la frecuencia, la duración y la intensidad del fuego, así como las características del suelo. Sin embargo, (Aguirre, 1981) se refiere a que el fuego modifica la permeabilidad del suelo, pero es poco probable que el calor

sea suficiente para alterar características como su textura.

Las propiedades físicas del suelo también se ven afectadas. Cuando el fuego destruye parte de la materia orgánica y elimina temporalmente la vegetación hace que se afecte su estabilidad estructural, ya que se debilitan los agregados, los cuales serán destruidos posteriormente por el impacto de las gotas de lluvia; al romperse la estructura del suelo se disminuye su capacidad de absorción de agua, con el consiguiente aumento de escorrentía superficial y la aparición de procesos erosivos (Martínez et al., 1991).

La porosidad es una de las propiedades físicas afectadas. El espacio creado por los poros controla el movimiento del agua y del aire en el suelo y debe haber un equilibrio entre los macro poros (mayores a 0,6 mm de diámetro) y los micro poros (menores a 0,6 mm). Este equilibrio en el tamaño de los poros permite al terreno transferir tanto el agua y el aire rápidamente (a través de los macro poros) y retener el agua por capilaridad (en los micro poros). La acción del fuego sobre el suelo puede destruir su estructura y afectar principalmente los macro poros, los cuales son especialmente importantes para las vías de infiltración de agua y su posterior filtración hacia abajo a través del perfil del suelo, de ahí que se produzca más escorrentía superficial, lo que da lugar a ciertos procesos de erosión hídrica (Beyers et al, 2008).

Es muy probable que las variaciones de los contenidos de Arcilla y Arena se deban principalmente a los procesos de erosión que a los efectos directos del fuego.

Los efectos del fuego en el sistema físico del suelo son complejos y dependen principalmente de los cambios que se producen en la materia orgánica durante el calentamiento del suelo, ya que ésta es esencial para mantener la estructura del suelo, particularmente en los horizontes superficiales (Tisadall y Oades, 1982; Amézketa, 1999).

Lo mencionado se explica porque la quema ocasiona una degradación en la estructura del suelo causando consigo la disminución de la porosidad por el taponamiento y obturamiento de los poros más gruesos a causa de la ceniza, aumentando consigo los valores de la densidad aparente reduciendo la infiltración e incrementando la escorrentía y con ello el lavado de nutrientes por el transporte de sedimentos, lo que a su vez causa la erosión en suelos quemados desprovistos de vegetación y materia orgánica.

## **9.1.2 Propiedades Químicas**

### **9.1.2.1 Análisis en función de los nutrientes del suelo**

En este análisis del proyecto se exponen los resultados del carbono orgánico debido a que inicialmente se determinó éste en el laboratorio, y de ahí se infieren los valores de la Materia orgánica, así que tienen un comportamiento igual; entonces, en términos generales, se puede hablar de igual manera del comportamiento del carbono orgánico como de la materia orgánica. Para esta investigación en este suelo el Carbono Orgánico es igual al Carbono Total por ser un suelo muy pobre en Calcio.

El porcentaje de C.O presentó disminución significativa de 1,39% a 1,04% ( $P < 0,05$ ), después de la quema para el Factor Manejo, (Ver Tabla 2). Causada por la eliminación del material orgánico muerto del subsuelo con la quema por micro organismos necrófitos y dejar el suelo más susceptible a la degradación por acción del viento y el agua.

Esto se debe a que cuando se realizó la quema prescrita las partes aéreas de las plantas quemadas quedaron convertidas en ceniza, el suelo desnudo o sin cobertura, después de la quema por la acción del viento y de las lluvias arrastró parte superficial del suelo junto con el material orgánico muerto disminuyendo de ésta manera significativamente la cantidad de Materia Orgánica del suelo.

Al momento de la quema mueren también muchos organismos que favorecen la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Torres et al., 2004). Así, debido a su ausencia y a la pérdida de nutrientes, el suelo se ve condenado a ser cada vez más infértil y surge la necesidad de introducir nuevos insumos a la finca, que comúnmente son fertilizantes químicos.

Como la cantidad de carbono está directamente relacionada con la cantidad de materia orgánica del suelo, no se va a observar una disminución drástica del contenido de carbono hasta que no se rebasen los 450°C que es cuando la combustión de materia orgánica es casi total (Giovannini, 1994, 1997; Úbeda, 2001), lo que sólo es significativo en fuegos de alta intensidad.

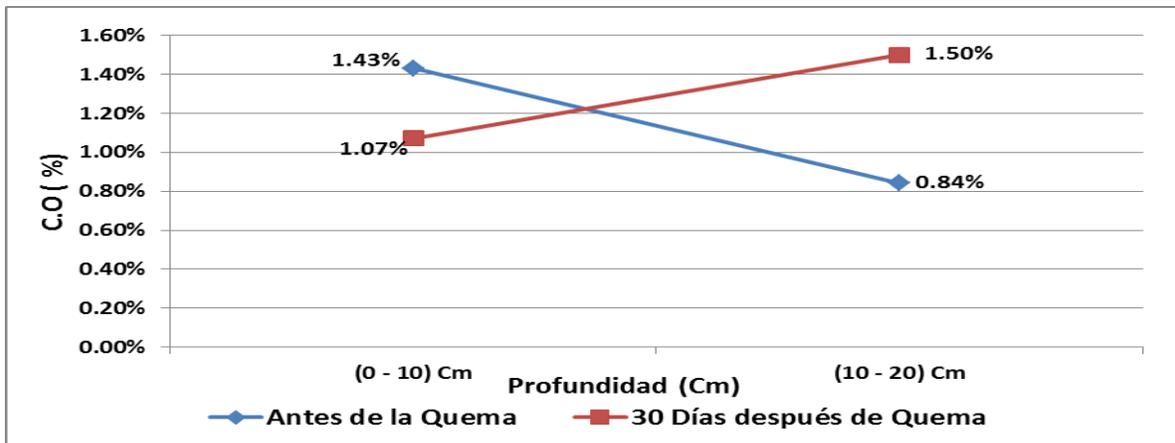
Los resultados de ésta investigación no coinciden con las afirmaciones de (Díaz Fierros et al. 1982), (Sánchez et al. 1994) y (Úbeda 2001) que observan un incremento de la materia orgánica en suelos que han sufrido fuegos de baja intensidad.

Las pérdidas de C y N total que previsiblemente ocurrirían como consecuencia de la incineración de la materia orgánica del suelo, se verían compensadas por los aportes de material incinerado que se acumula sobre el suelo, dando un balance final positivo inmediatamente después de la quema (Díaz Fierros et al., 1982).

La Materia Orgánica suministra la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos ácidos.

El porcentaje de C.O presentó disminución de 1,43% a 1,07% en la profundidad de 0-10 cm y aumento de 0,84% a 1,50% en la profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad, (Ver Figura 5).

**Figura 5. Interacción entre el momento de quema y la profundidad sobre el contenido de Carbono Orgánico. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.**



El porcentaje de CO disminuyó en la profundidad de 0-10 cm, causada por la degradación y erosión del viento y el agua; y al consumo por parte de micro organismos necrófitos

El porcentaje de CO aumentó en la profundidad de 10-20 cm, porque se encuentra mejor protegido a la erosión del viento y el agua como al consumo por parte de micro organismos necrófitos, además el CO es lixiviado de capas superiores a capas más inferiores.

Estos cambios se deben a que la capa superficial es la que sufre las pérdidas de material orgánico quedando expuesta a la volatilización causada por el viento y lavado o escorrentía por las lluvias; en la capa más profunda (10-20) cm, alguna parte del material orgánico es filtrado hacia éstas capas, en mayor proporción o cantidad cuando se presentan las quemadas prescritas en suelos arenosos, por eso se presentan aumentos con relación a la capa más superior.

Se observa que el valor de P tuvo disminución altamente significativa pasando de 0,63 ppm a 0,15 ppm ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 2). Como causa de su alta volatilización durante el proceso

de la quema y que no son compensadas con las entradas por precipitación u otras fuentes. (Hernández-Valencia y López-Hernández 1999). Y (Debano, 1989) quien afirma que grandes cantidades de algunos nutrientes, tales como N, S y P pueden ser volatilizados durante un incendio. Pero contradice lo que afirma (Benítez, 2003) quien refiere incrementos en la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio de valores relativamente altos después de una quema prescrita.

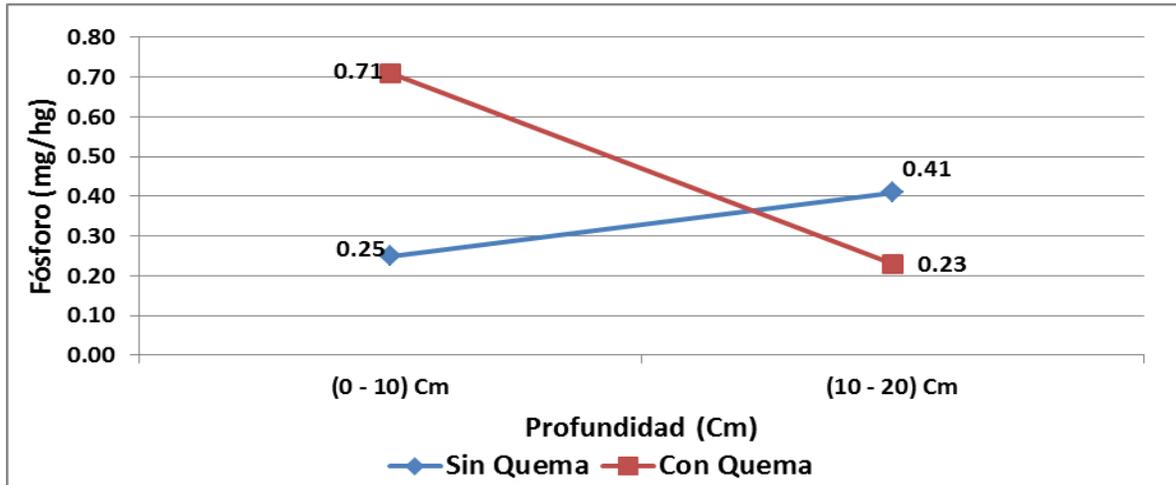
(Munévar y Wollum, 1976). Citados por (Sánchez 1981), probaron que la deficiencia extrema de fósforo, típica de estos suelos, inhibe el crecimiento microbiano, dando por resultado una tasa más baja de mineralización, afectando directamente el contenido de fósforo (P).

Los suelos ácidos tienen por característica un alto contenido de iones de Hierro y Aluminio, los cuales forman compuestos insolubles con el P, reduciendo así la disponibilidad de éste elemento para las plantas.

El P, uno de los elementos más dinámicos en el suelo después de eventos como los incendios.

El contenido de P mostró aumento de 0,25 ppm a 0,71 ppm en la profundidad de 0-10 cm causada por los residuos y el aporte de ceniza a la capa superficial y disminución de 0,41 ppm a 0,23 ppm en profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) producida por una pobre y escasa mineralización del elemento por la falta de micro organismos o meso fauna dentro del suelo causada por las quemas prescritas, después de la quema en la relación Manejo x Profundidad, (Ver Figura 6).

**Figura 6. Interacción entre el Manejo y la profundidad sobre el contenido de Fósforo. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.**



El contenido de P aumentó en el Manejo con Quema, en la profundidad de 0-10 cm, causada por los residuos y el aporte de cenizas a la capa superficial.

El contenido de P disminuyó en el Manejo con Quema, en la profundidad de 10-20 cm, porque es rápidamente erosionado por acción del viento y el agua a otros lugares antes de ir a otras capas inferiores.

El valor de K tuvo aumento altamente significativo de 0,02 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,03 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 2). Debido a su poca o escasa volatilización y al aporte de las cenizas procedentes del fuego el cual indujo una fuerte mineralización del potasio de la materia orgánica, aumentando sus contenidos; sin embargo, a los 3 años se podría observar valores similares a los iniciales, determinados por la baja severidad de la quema y las características del suelo que le permite retornar a sus condiciones iniciales.

Además, (Martínez, 2006) en estudios realizados con la implementación de quemadas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* se refiere a incrementos significativos del K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>.

Diversos autores obtuvieron resultados semejantes (Sánchez et al., 1994; Giovannini, 1997; Blank y Zamudio, 1998; Úbeda, 2001), atribuyendo el aumento de K a la ceniza producida tras la combustión de la vegetación, aunque (Dimitrakopoulos et al, 1994) señalan que si no hay suministro de potasio por parte de la vegetación, la concentración de potasio se verá reducida a corto plazo después de la quema prescrita.

El contenido de K presentó diferencia altamente significativa a diferentes profundidades, 0,04 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidades entre 0-10 cm y 0,02 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidades entre 10-20 cm ( $P < 0,01$ ) en el Factor Profundidad, (Ver Tabla 2). Porque la quema afecta mucho más el contenido de Potasio causando aumentos altamente significativos a la profundidad entre (0-10) cm, debido al aporte del material quemado y las cenizas lo cual confirma lo que dice (Benítez, 2003).

El contenido de Ca registró aumento altamente significativo de 0,10 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,18 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 2). Porque éste catión no es volatilizado, sin embargo, pequeñas cantidades podrían ser transferidas del sitio por acción del viento y de agua.

El Calcio (Ca) es considerado como elemento inmóvil, existe en los suelos sobre todo en forma inorgánica, la condición de contenido alto de Calcio (Ca) es deseable porque refleja concentraciones bajas de otros cationes intercambiables que podrían ocasionar problemas a las plantas principalmente el Aluminio (Al) en suelos ácidos y el Sodio (Na) en suelos sódicos.

El contenido de Mg presentó aumento significativo de 0,0158 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,0250 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,05$ ), a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 2). Porque éste catión al igual que el Ca no es volatilizado, sin embargo, pequeñas cantidades podrían ser transferidas del sitio por acción del

viento y de agua.

(Benítez, 2003), (Citado por Martínez, 2006) refiere incrementos en la disponibilidad de calcio y magnesio a valores relativamente altos en plantaciones de *Pinus caribaea*, después de ser afectados por el fuego.

(Giovannini 1997), señala aumento en la concentración de calcio, magnesio y sodio en parcelas quemadas a baja intensidad (desde los 170°C hasta los 500°C). Pero (Blank y Zamudio, 1998) señalan diferencias en el comportamiento de las concentraciones dependiendo de la vegetación que se incendie. La disminución observada en la concentración de los cationes a los 30 y 90 días después del incendio puede ser debida a un lavado favorecido por la precipitación caída en éste periodo y al hecho de que se trata de un suelo arenoso (Carreira y Niell, 1995; Marcos et al., 1999).

El Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg) existen en muchas formas en los suelos, pueden estar en forma intercambiable en el complejo coloidal o en forma soluble en la solución del suelo como bicarbonatos, cloruros o sulfatos.

Las cantidades elevadas de Magnesio (Mg) y Aluminio (Al) pueden restringir la absorción de Calcio (Ca) en los vegetales.

Respecto a los cationes de cambio (K, Mg, Ca) en la solución del suelo, aumentan considerablemente debido a la disminución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, al destruirse parte de la materia orgánica (Martínez et al., 1991). Dicho incremento de cationes se presenta de forma transitoria, ya que a mediano y largo plazo el suelo se vuelve a empobrecer por las pérdidas que tiene el lavado, lo que disminuye la capacidad del complejo adsorbente para retener nutrientes.

Al analizar los cationes de forma detallada, (Martínez et al, 1991) comentan que el

potasio, el magnesio y el calcio experimentan incrementos tras el incendio de hasta cuatro veces sus valores iniciales; sin embargo el incremento del potasio desaparece rápidamente, y a los cuatro meses de ocurrido el fuego sus valores son similares a los iniciales, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores. Con respecto al magnesio y el calcio, el incremento observado inicialmente es todavía sensible a los dos años de presentado el incendio

Aunque el Aluminio es el principal culpable del crecimiento deficiente de las plantas en suelos ácidos también puede deberse a deficiencias directas de Calcio y Magnesio. En ésta región muchos suelos ácidos son deficientes en Calcio sin que tengan problemas de toxicidad de Aluminio.

Los resultados tienden a aumentar sus concentraciones de Saturación de Bases, básicamente a causa de la liberación de nutrientes por la acción de las quemas de baja intensidad aplicadas, las cuales consumieron parcialmente la materia orgánica.

Para (Plaster, 1996), se define el porcentaje de saturación de bases como el porcentaje de sitios de intercambio de cationes ocupados con bases intercambiables. Expresa la cantidad de “fertilidad potencial”, del suelo que retiene bases intercambiables.

En ese aspecto, es necesario señalar que, como consecuencia de la liberación de Ca, Mg, K y Na, la saturación de bases aumentará, e igualmente la conductividad eléctrica.

El Na es el catión más importante como elemento intercambiable pero en suelos salinos, por lo que no presentó diferencias significativas en ésta investigación.

(Ellis y Graley, 1983), entre otros autores, encontraron aumentos de algunos cationes cambiabiles (K y Mg) procedentes de las cenizas.

La relación Ca/Mg; en ésta investigación presentó aumentos en las 3 variables estudiadas; Momento (6,903 a 8,360), Manejo (6,783 a 8,479) y Profundidad (6,500 a 8,763), pero no fueron significativos (Ver Tabla 2). Normalmente se espera que un suelo tenga más Calcio que Magnesio en el complejo de cambio, se conocen muy bien por los agricultores los efectos benéficos del encalamiento en suelos extremadamente ácidos, pero ésta labor de encalamiento puede causar disturbios en la fertilidad del suelo causados por el desbalance de la relación Ca/Mg; provocando deficiencias de Mg en las plantas, mientras que si se presenta una relación invertida, es decir, más Mg que Calcio se puede provocar una absorción anormal y alta de Mg, en lugar de deficiencias de Ca; en otras palabras causa toxicidad por exceso de Mg.

(El ICA, 1992), indica que “La relación Ca/Mg debe tenerse en cuenta especialmente en suelos ácidos que requieren encalamiento. El valor mínimo para la relación debe ser 1 cuando la relación Ca/Mg es amplia, más de 4 y el suelo necesite encalamiento, se recomienda aplicar 1250 Kg de Cal Dolomita/Ha. Lipman citado por León, sostiene que probablemente exista una relación Ca/Mg para cada cultivo o grupo de ellos y Loew citado por el mismo autor, cree que la mayoría de cultivos se adapta a una relación 2:1.

#### **9.1.2.2 Análisis en función de la Acidez y la CIC del suelo**

El valor de pH mostró aumento significativo de 4,91 a 5,00 unidades ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en el Factor Momento, (Ver Tabla 3). el pH suele aumentar en suelos quemados por fuego prescrito debido al aporte de cationes procedente de las cenizas, aunque dependiendo de la intensidad de la quema y otras características edáficas puede no haber cambios apreciables.

Esto se explica por la incorporación de cenizas con carácter alcalino que se produjo a consecuencia del chaqueo, las mismas que se humedecieron por efecto de las lluvias produciéndose la hidrólisis de los cationes básicos contenidos en las

cenizas y consecuentemente, la elevación del pH según (Kutiel y col, 1990); (Fritze y col, 1994) y (Ulery y col, 1995).

El pH del suelo es una de las propiedades químicas que se ven afectadas tras el paso del fuego. Su valor se incrementa debido a las cenizas procedentes del incendio, las cuales contienen gran cantidad de carbonato potásico ( $\text{CO}_3\text{K}_2$ ), que por proceder de un ácido débil y una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza, y por consiguiente se incrementa el pH. Sin embargo, cuando los efectos del lavado y arrastre de cationes por las lluvias son muy intensos, a los incrementos iniciales de pH tras el fuego pueden seguir fuertes descensos que logran alcanzar valores inferiores a los registrados antes del incendio o la quema (Martínez et al., 1991).

El pH del suelo sufre un ligero y progresivo aumento, ligado a la disponibilidad inmediata de cationes en la ceniza, (Mills, 2007).

(Soares, 1985), describe experimentos de quema controlada donde la acidez fue reducida en dos a tres unidades de pH, volviendo a la normalidad cinco años después de la quema.

El pH del suelo a veces no es modificado por el fuego pese a la multitud de datos (Raison, 1979; Dimitrakopoulos et al., 1994; Romanyá et al., 1994; Giovannini, 1997; Úbeda, 2001), que muestran un aumento significativo del pH en los suelos donde se realizaron quemas prescritas.

Diversos autores (Debano y Conrad, 1978; Díaz-Fierros et al., 1982; Wilbur y Christensen, 1983; Marcos et al., 1999) señalan que en quemas de baja intensidad no se detectan variaciones de pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas. En este caso ni la cantidad ni la composición de las cenizas fueron suficientemente elevadas para producir modificaciones de pH en el suelo. Los cambios en el pH se deben, según (Giovannini, 1994), a la pérdida de grupos

hidrófilos por parte de las arcillas y a la formación de óxidos derivados de la disolución de carbonatos. No obstante, Giovannini subraya que es necesaria una temperatura superior a 450°C para que este incremento sea notable.

Otros autores indicaron que el pH suele aumentar en suelos quemados por prescripción (REGO et al, 1983) debido al aporte de cationes procedentes de las cenizas, aunque dependiendo de la intensidad de la quema y otras características edáficas, puede no haber cambios apreciables (BINKLEY, 1986).

De acuerdo con (Wells, 1979) la acidez en las capas superficiales del suelo es reducida por la quema, como un resultado de la liberación de los cationes básicos por la combustión de la materia orgánica y los minerales.

(Batista, 1995), citado por (Martínez, 2006) refiere que cuando la materia orgánica del suelo es quemada, las sustancias netas contenidas son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que generalmente presentan reacción alcalina. De ese modo, cuando las cenizas son depositadas en el suelo la tendencia es a disminuir la acidez.

El pH es una de las propiedades químicas más importantes del suelo porque afecta la solubilidad de muchos nutrientes esenciales para las plantas y también de sustancias tóxicas para ellas e incide directamente en la CIC.

El pH entre las áreas quemadas y sin quemar no fue significativo. Resultados similares han encontrado (Batista, 1995); (De Ronde, et al, 1990) y (Soares, 1990).

Estos autores plantean que el efecto del fuego en el pH decrece con la profundidad del suelo manteniéndose casi en los mismos niveles un año después de realizar la quema.

El valor de pH evidenció aumento significativo de 4,91 unidades en la profundidad de 0-10 cm a 5,00 unidades a la profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) en el Factor Profundidad. (Ver Tabla 3). Atribuibles a las lluvias intensas y sostenidas en un corto período de tiempo características de ésta región de la Orinoquía y a la textura Franco Arenosa del suelo la cual permite lixiviar y filtrar las bases (Ca, Mg, K y Na) con la escasa M.O de la capa más superficial a capas más profundas.

El contenido de Al presentó aumento altamente significativo de 0,77 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,22 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) a los 30 días después de la quema para el Factor Momento, (Ver Tabla 3). El calentamiento debido al fuego puede generar deshidroxilación de algunos minerales arcillosos y como resultado aumentar la concentración de Aluminio, aunque simultáneamente las cenizas pueden generar un incremento en el pH y en los cationes de cambio. Posteriormente se puede presentar rehidroxilación de los minerales, lo que nuevamente altera considerablemente la dinámica química del suelo. (Yusihami y Gilkes 2010).

El contenido del Al presentó disminución significativa de 1,04 Meq.100g<sup>-1</sup> a 0,95 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,05$ ) después de la quema en el Factor Manejo, (Ver Tabla 3). Los niveles de Aluminio en la solución del suelo dependen del contenido de Materia Orgánica en el suelo y del contenido de las sales (Kamprath, 1972). El Aluminio de la solución del suelo disminuye conforme aumenta el contenido de Materia Orgánica debido a que la Materia Orgánica forma complejos muy fuertes con el Aluminio.

La gran mayoría de los suelos del Vichada son considerados extremadamente ácidos, excepto en las vegas y bosques. Por ejemplo (León, 1970) estima que el 70% de los suelos de Colombia tienen problemas de acidez. Los trabajos de Coleman y otros probaron que el Aluminio intercambiable era el catión dominante asociado con la acidez del suelo.

El Al, que es una de las principales fuentes de acidez en los suelos tropicales

(Fassbender y Bornemisza, 1994; Sánchez, 1981), no mostró una relación definida con el pH, siendo mayor en las zonas afectadas y más bajo en las no-afectadas. Los valores de Saturación de Aluminio son altos y en su mayoría > 70%, lo que muestra condiciones propias de alta acidez y concentraciones de éste elemento en el complejo de cambio,

El Aluminio intercambiable se precipita con un pH alrededor de 5,5 a 6,0. Por lo tanto con valores de pH del suelo mayores se encuentra poco o nada de Aluminio intercambiable. Además de los valores de Aluminio intercambiable, una medida útil de la acidez es el porcentaje de saturación de acidez intercambiable de la CIC efectiva.

El Aluminio de la solución del suelo aumenta conforme aumenta el contenido de sales, debido a que entonces otros cationes desplazan al Aluminio intercambiable por acción de masa. (Brenes y Pearson, 1973).

El crecimiento deficiente de un cultivo en un suelo ácido puede estar relacionado con la saturación de Aluminio. La infertilidad de los suelos ácidos se debe a uno o más de los siguientes factores: Toxicidad por el Aluminio, deficiencia de Calcio o Magnesio y toxicidad por Manganeso. Estudios de (Abruña et al, 1970) y de (Villagarcía, 1973), muestran que el efecto primario de la toxicidad de Aluminio es daño directo al sistema radicular. El desarrollo radicular se restringe, y las raíces se vuelven más gruesas y presentan puntos muertos. Estos estudios indican que el Aluminio tiende a acumularse en las raíces, impidiendo la absorción y traslado del Calcio y el Fósforo en la parte aérea. (Fox, 1974).

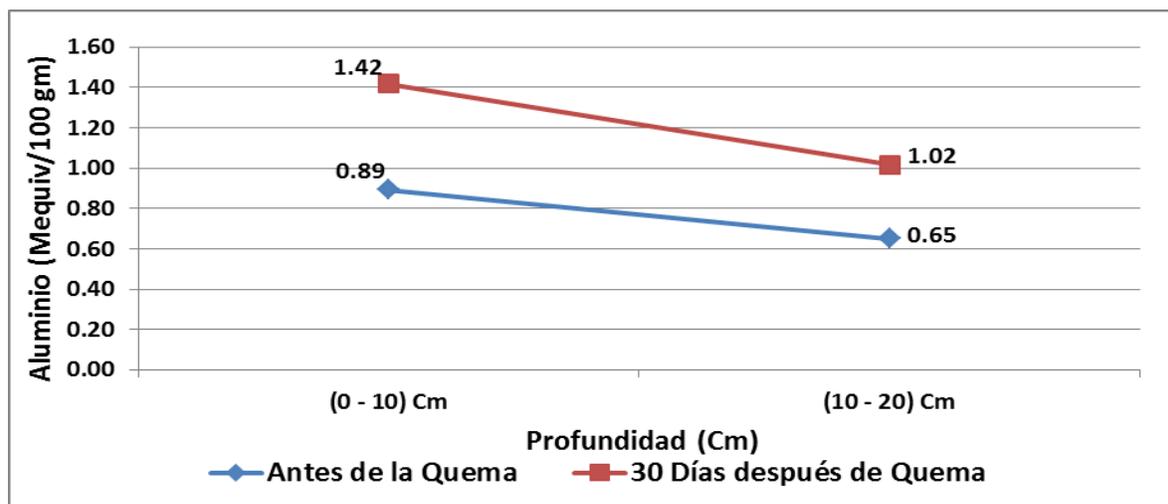
El contenido de Al mostró disminución altamente significativa de 1,15 Meq.100g<sup>-1</sup> en la profundidad de 0-10 cm a 0,84 Meq.100g<sup>-1</sup> en la profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) en el Factor Profundidad, (Ver Tabla 3). La alta caída pluviométrica que ocurre normalmente en la zona provoca una lixiviación o arrastre hacia el interior del perfil del suelo de las bases de intercambio. Éste proceso, que ocurre lenta

pero sostenible en el tiempo, determina un remplazo de éstas bases por los cationes ácidos (H y Al), en la capa superficial del suelo. (Sadzawka y Campillo, 1999).

Existe una acumulación de cationes ácidos de Al e H a través del tiempo en la capa superficial.

El contenido de Al presentó aumento de 0,89 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,42 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidad de 0-10 cm y aumento de 0,65 Meq.100g<sup>-1</sup> a 1,02 Meq.100g<sup>-1</sup> en profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) a los 30 días después de la quema en la relación Momento x Profundidad, (Ver Figura 7). El calentamiento debido al fuego genera deshidroxilación de algunos minerales arcillosos y como resultado aumenta la concentración de Aluminio.

**Figura 7. Interacción entre el momento de la quema y la profundidad sobre el contenido de Aluminio. Suelos de altillanura municipio de Cumaribo año 2015.**



El Contenido de Al aumentó en la dos profundidad de 0-10 cm y de 10-20 cm, porque los niveles de Aluminio en el suelo están inversamente relacionados con el contenido de Materia Orgánica y como ésta disminuyó entonces el contenido de Al aumentó.

El valor de la CIC mostró disminución altamente significativa de 5,54 Meq.100g<sup>-1</sup> a 3,70 Meq.100g<sup>-1</sup> ( $P < 0,01$ ) después de la quema para el Factor Manejo, (Ver Tabla 3). Según (Martínez y Becerra, 2004), la CIC decrece cuando ocurre una quema, debido a la degradación de coloides orgánicos e inorgánicos. De tal manera, la CIC total permanecerá baja durante al menos un año después de la quema.

La baja CIC está relacionada con la dificultad de que se produzca intercambio catiónico en zonas de pH muy ácido (Marcos 1999).

La CIC es un indicador de la recuperación que presentan los suelos a través del tiempo.

Según (ICA, 1992), “La apreciable contribución de la Materia Orgánica a la CIC de los suelos es muy valiosa para aquellos de textura arenosa y los muy antiguos que contienen arcilla de reducida capacidad de cambio y baja retención de cationes”.

Se necesita una CIC de 5 Meq/100 gm para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación. Valores aún mayores de CIC son mejores, especialmente si los cationes intercambiables presentes son divalentes.

En variedades tolerantes el Aluminio de las raíces no impide la absorción y translocación del Calcio, Magnesio y Potasio mientras que sí lo impide en variedades susceptibles.

Los cambios observados en las propiedades químicas de los suelos son consistentes con los encontrados por (Mills, 2006), quien determinó que después de un incendio las propiedades que resultan más afectadas y muestran una mayor sensibilidad son la M.O. y la C.I.C, por lo cual pueden ser utilizadas como posibles indicadores de degradación del suelo.

Los coloides tienen algunas propiedades físicas marcadas que afectan fuertemente las características agrícolas de los distintos suelos. Los suelos de las regiones con precipitación escasa y poca agua subterránea están sometidos a lixiviación moderada y, por tanto, contienen gran cantidad de compuestos originales, como Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio. En ésta región los coloides de este tipo se expanden en gran medida cuando se mojan y tienden a dispersarse en el agua, los coloides inorgánicos y orgánicos penetran en la tierra transportados por agua subterránea después de lluvias o inundaciones, (Gilbert, 1960).

Otra fuente de acidez de los suelo es la M.O. El humus contiene grupos activos que se comportan como ácidos débiles liberando iones Hidrógeno. La descomposición de los residuos orgánicos produce Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), el cual se combina con agua para formar ácido carbónico. La disociación de éste ácido débil proporciona otra fuente de acidificación del suelo, (Gilbert, 1960).

La cantidad de CIC tuvo reducción altamente significativa de  $5,22 \text{ Meq.}100\text{g}^{-1}$  en la profundidad de 0-10 cm a  $4,02 \text{ Meq.}100\text{g}^{-1}$  en la profundidad de 10-20 cm ( $P < 0,05$ ) en el Factor Profundidad, (Ver Tabla 3). Según (ICA, 1992), “La apreciable contribución de la Materia Orgánica a la CIC de los suelos es muy valiosa para aquellos de textura arenosa, la textura del suelo donde se realizó la presente investigación es Franco Arenosa, por lo tanto, la escasa M.O ubicada en la capa superficial del suelo hace que la CIC sea mayor en esa zona en comparación con las capas más profundas en condiciones normales.

## CONCLUSIONES

La rápida mineralización de la materia orgánica junto con la salida hacia la atmósfera de una importante fracción de los nutrimentos contenidos en la vegetación, es la consecuencia más evidente de la quema en el ciclaje de nutrimentos.

El fuego introduce efectos negativos y positivos sobre las propiedades de los suelos. La magnitud de estos efectos depende fundamentalmente de los valores que muestren las variables del comportamiento del fuego, tales como su intensidad lineal, la velocidad de propagación y el calor liberado por unidad de área.

El incremento de algunos nutrientes del suelo en el corto plazo es uno de los beneficios de la quema de vegetación, pero en el mediano y largo plazo la quema puede ser perjudicial para la producción vegetal debido a las salidas de nutrientes del sistema por volatilización y lixiviación.

El porcentaje de Arena disminuyó significativamente y el porcentaje de Arcilla aumento significativamente en el Factor Momento, Esto se debe a que el suelo sufre un proceso de compactación al reducirse los poros y ser ocupados por partículas desagregadas más finas.

El porcentaje de Arcilla disminuyó significativamente en el Factor Manejo, la alteración de los agregados que une la MO conlleva a pérdidas de partículas finas como las de Limo y Arcilla las cuales se terminan de dispersar por la lluvia, el viento y otros factores externos a otros lugares.

El % C.O presentó disminución significativa en el Factor Manejo, causada por la eliminación del material orgánico muerto por micro organismos necrófitos y a la degradación y erosión por acción del viento y el agua.

El P tuvo disminución altamente significativa en el Factor Momento, como causa de su alta volatilización durante la quema y que no son compensadas con las entradas de lluvia u otras fuentes.

El contenido de K tuvo aumento altamente significativo en el Factor Momento, debido a su poca o escasa volatilización y al aporte de las cenizas procedentes del fuego.

El contenido de K presentó diferencia altamente significativa en el Factor Profundidad, porque la quema afecta mucho más el contenido de Potasio en la capa superficial causando aumentos altamente significativos a la profundidad entre (0-10) que en la de (10-20) cm, debido al aporte de K procedente de las cenizas.

El contenido de Ca presentó aumentos altamente significativos y el Mg aumentos significativos en el Factor Momento, Porque éstos cationes no son volatilizados, sin embargo, pequeñas cantidades podrían ser transferidas del sitio a otros lugares por acción del viento y el agua.

El valor de pH mostró aumento significativo en el Factor Momento y en el Factor Profundidad, el pH suele aumentar en suelos quemados debido al aporte de cationes procedente de las cenizas, aunque dependiendo de la intensidad de la quema y otras características edáficas puede no haber cambios apreciables.

El aumento del pH en la profundidad de 10-20 cm son atribuibles a las lluvias intensas y sostenidas en un corto período de tiempo características de ésta región de la Orinoquía y a la textura Franco Arenosa del suelo proveniente de la Roca

Madre del Escudo Guyanés, lo cual permite lixiviar y filtrar las bases (Ca, Mg, K y Na) de la capa más superficial a capas inferiores.

El contenido de Al presentó aumento altamente significativo en el Factor Momento, El calentamiento debido al fuego puede generar deshidroxilación de algunos minerales arcillosos y como resultado aumentar la concentración de Aluminio, aunque simultáneamente las cenizas pueden generar un incremento en el pH y en las bases del suelo.

El contenido del Al presentó disminución significativa en el Factor Manejo, como consecuencia del aporte de cationes provenientes de las cenizas.

El contenido de Al mostró disminución altamente significativa en el Factor Profundidad a 10-20 cm, las altas precipitaciones de agua en períodos cortos de tiempo que ocurren en la zona provoca una lixiviación o arrastre de las bases de intercambio hacia el interior del perfil del suelo.

El valor de la CIC mostró disminución altamente significativa para en el Factor Manejo, la CIC decrece cuando ocurre una quema, debido a la degradación de coloides orgánicos e inorgánicos.

La cantidad de CIC tuvo reducción altamente significativa en el Factor Profundidad, la apreciable contribución de la Materia Orgánica a la CIC de los suelos es muy valiosa para aquellos de textura arenosa, la textura del suelo donde se realizó la presente investigación es Franco Arenosa, por lo tanto, la escasa M.O ubicada en la capa superficial del suelo hace que la CIC sea mayor en esa zona en comparación con las capas más profundas en condiciones normales.

Las demás características no presentaron diferencias significativas.

## RECOMENDACIONES

En aras de una agricultura sostenible que garantice la seguridad alimentaria de los agricultores, sus familias y comunidades, es necesario buscar alternativas que sustituyan o controlen la práctica de tumba y quema, de manera que se reduzca la destrucción de los suelos y así mantener o mejorar su fertilidad y consecuentemente, su productividad.

Se considera que los efectos negativos sobre el suelo no ocurren por el simple hecho de dar fuego, sino que sobrevienen de acuerdo con la frecuencia y magnitud de la quema por lo que es necesario seguir haciendo más investigaciones en estos temas.

Es necesario el desarrollo de actividades educativas para crear conciencia sobre tumba y quema de bosques y la quema a campo abierto como una práctica indeseable y sus efectos nocivos, tanto al ambiente como a la salud humana ya que no hay programas agropecuarios sostenibles por parte de entidades del estado o entidades particulares que tengan en cuenta el estudio de las quemas tradicionales por lo que las quemas de vegetación se seguirán realizando sino hay intervención en un corto plazo.

En futuras investigaciones sobre quemas de vegetación sería muy importante contar con datos de cantidad y tipo de material vegetal combustible

Por último, cabe destacar que los cambios en las propiedades del suelo y la variación de los resultados analíticos no pueden ser solamente atribuidos al incendio sino también al cambio de localización de las muestras de unas fechas a otras y a los cambios ambientales que se producen tras el mismo, ya que el

incendio que afectó a la zona de estudio puede ser considerado de baja intensidad por la aparición de un alto porcentaje de restos parcialmente carbonizados.

## BIBLIOGRAFIA

Abruña, F., Pearson, R. W. y Elkins, C. Qualitative evaluation of soil reaction and base status changes from field applications of residually acid forming nitrogen fertilizer. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 539-542, 1970.

Afif, K., y Oliveira, P. (2006). Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. *Invest Agrar: Sist Recur For*, Vol. 15, N° 3, pp. 262-270.

Aguirre, B. 1981. Efecto del fuego en algunas propiedades físicas del suelo forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de enseñanza, Investigación y Servicio en bosque. Publicación Especial. México. 73 p.

Ahlstrom J., Baldes J., Bird J., Brummer T., Singh G., Glenn M., et al. (2008). Forest fire: Examining the effects of recent fire on soil nutrients and microbes, and above and below ground vegetation. Bozeman, Montana: Montana State University.

Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83-151.

Arnal, J. I. 1976. Problemática de la quema de la caña de azúcar. Venezuela. Seminario Internacional Sobre Mecanización de la Cosecha de la Caña de Azúcar. Maracay. 26 Septiembre al 1 De Octubre de 1976. 12 p. Venezuela.

BATISTA, A. C. 1995. Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná. Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais. Curitiba. 108p

BENITEZ, H. 2003. Regeneración natural de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* mediante talas rasas en fajas alternas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas. Programa doctoral conjunto. "Desarrollo sostenible de bosques tropicales: manejo forestal y turístico". Universidad de Alicante y Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río. Cuba.

Beyers, J., Brown, J., Busse, M., Debano, L., Elliot, W., Folliott, P. et al. (2008). Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water. Lincoln: University of Nebraska, United States Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station.

BLANK R.R, ZAMUDIO D.C., 1998. The influence of wildfire on aqueous-extractable soil solutes in forested and wet meadow ecosystems along the eastern front of the Sierra Nevada Range California. *Int J Wild Land Fire* 8(2), 79-85

Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. J. Wiley & Sons, New York. 290 p.; also published: 1993. *Nutrition Forestal: Practicas de manejo* (translated by M.G. Ortiz and R.O. Pérez) Editorial Limusa, México DF. 340 p.

Brenes, E.; Pearson, R. W. 1973. Root responses of three cramine species to soil acidity in an oxisol and an ultisol. *Soil Science* 116, 295-30.

Carreira, J.A., Niell, F.X. (1995). Mobilization of nutrients by fire in a semiarid gorse-scrubland ecosystem of southern Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 9, 73-89.

CAMARGO GARCÍA, Juan Carlos et al. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. Acta Agronómica, [S.l.], v. 61, n. 2, p. 151-165, nov. 2012. ISSN 2323-0118. Disponible en:

[http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/35618](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35618)

Consultado Junio de 2016.

Casco, J.F. 1993. El uso del fuego en los pastizales del N.O. de la provincia de Corrientes. En Biología y manejo de fuego en ecosistemas naturales y modificados. Memoria del Seminario Taller. 2, 3 y 4 de Junio de 1993. EEA INTA Santiago del Estero. p. 139-140

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1983. Manejo de la Sabana nativa en los Llanos Orientales de Colombia y Venezuela; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Raúl Botero Botero. Producción: Carlos A. Valencia. CIAT. 30 p. (Serie 04SP-04.01).

Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1):1 - 10.

(Clara E. Chamorro B, Luis H. Soto 1984). CAMBIOS EN LA COMUNIDAD MACROFAUNISTICA EN SUELOS DEL VICHADA (Quartzipsammentic Haplustox) AFECTADOS POR LAS QUEMAS.

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011a). Estrategia de Corresponsabilidad social en la lucha contra incendios forestales. Bogotá.

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011b). Lineamientos simplificados para la elaboración de planes de contingencia municipales en incendios forestales —PCMSIF—. Bogotá.

Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Protocolo de restauración de coberturas vegetales afectadas por incendios. Bogotá.

Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005). Resolución 532 por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras. Bogotá.

Concejo de Puerto Carreño 2012. Puerto Carreño Vichada PD 2012 - Cdim – Esap. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/puertocarre%C3%B1ovichadapd2012-2015.pdf>. Consultado Noviembre 2015.

Crane, J. B. 1972. Fire in the Australian environment. Proceedings: Fire in the Environment. USDA Forest Service p. 93-96.

Cristino Alberto Gómez (2007). El Agrónomo: Efectos de la quema sobre la calidad del suelo. Recuperado de <http://agronomord.blogspot.com.co/2007/07/efectos-de-la-quema-sobre-la-calidad.html>. Consultado Noviembre 2015.

DEBANO L.F., CONRAD C.E., 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. Ecology 59(3), 489-497.

DeBano, L.F. (1989). The effect of fire on soil properties. En: Proceedings of a Symposium on Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils. (A.E., Harvey y L.F., Neuenschwander, eds.). Boise, ID. USDA Forest Service Technical Report, 280: 151-156.

DE BANO, L. F. 1989. Effects of fire on chaparral soils in Arizona and California and postfire management implications. Symposium on Fire and Watershed Management. Sacramento, U.S.D.A. Forest Service, Berkeley, p. 55-62.

DE LUIS M., RAVENTÓS J., CORTINA J., GONZÁLEZ-HIDALGO J.C., SÁNCHEZ J.R., 2003. Fire and torrential rainfall: effects on the perennial grass *Brachypodiumretusum*. *Plant Ecology* 51, 33-65.

DE RONDE, C.; GOLDAMMER, J. G.; WADE, D. D.; SOARES, R. V. 1990. Prescribed fire in industrial plantations. In: Goldammer, J. G. *Fire in the Tropical Biota-Ecosystem and global Challenges*. Berlin: Springer-Verlag, p.216-272, (Ecological Studies, Vol. 84).

Díaz-Fierros, F.; Gil Sotres, F.; Cabaneiro, A.; Carballas, T.; Leirós, M.C. y Villar, M.C. (1982). Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 41: 627-639.

DÍAZ-FIERROS V.F., BENITO RUEDA E., PÉREZ MOREIRA R., 1990. Solute loss and soil erosion in burned soil from Galicia (NW Spain). En: *Fire and ecosystems Dynamics: Mediterranean and Northern Perspective*. SPB Academic Publishing. pp. 103-116.

DIMITRAKOPOULOS A.P., MARTIN R.E., PAPAMICHOS N.T., 1994. The effect of fire in available potassium. En: *Soil erosion as a consequence of forest fires*. Geoderma, Logroño, España. pp. 199-206

ELLIS R. C. & GRALEY A. M. 1983: «Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rainforest». *Plant and Soil* 74: 437-450.

FASSBENDER H., BORNEMISZA E. 1981. *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. San José, Costa Rica.

Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Costa Rica. 420 p.

Flores, J.G., Benavides, J. 2009. Efecto del fuego en la regeneración natural de ecosistemas forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Mundi- Prensa. p.141-152.

Forbes, M., Raison, R. & Skjemastad, J. (2006). Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. Journal Science of the total environment, Vol. 370, pp. 190-206.

GILBERT, Wooding Robinson. "Los suelos". Ediciones Omega S.A. Barcelona, 1960.

Giovannini G., Lucchesi, S. y Giachetti, M. (1988). Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. Soil Science, 146: 255-262.

GIOVANNINI G., 1994. The effect of fire on soil quality. En: Soil erosion as a consequence of forest fires, Geoderma, Logroño, España. pp. 15-27.

GIOVANNINI G., 1997. The effect of fire on soil quality, physical and chemical aspects. En: Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course, European Commission. pp. 217-248.

González, F., Almendros, G., González J., Knicker, H., González, R., Hernández, Z. et al. (2009). Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. Cátedra de divulgación de la ciencia. Valencia.

González Toro Carmen, 2009. EL FUEGO, LA QUEMA DE PASTOS Y SUS CONSECUENCIAS, Recuperado de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-740/quemapastosguia.pdf>. Consultado Noviembre 2015.

Hernández-Valencia, I. & D. López-Hernández 1999. Efectos de la quema sobre el cielo del fósforo en una sabana de Trachypogon. *Ecotrópicos* 12: 3-7.

Hernández, I; López, D. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de Trachypogon (en línea). Disponible en <http://www.ots.ac.cr/tropiweb/read/revistas/F50-3-4%20%5B2002%5D.pdf/15>, Consultado Enero 2016.

HERNANDEZ\_PER-1013-1019.pdf Consultada el 7 de junio del 2007.

Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, Londres.

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Bogotá: ICA.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1995. *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá. 632 p.

Iglesias, M. (1993). Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo en un pinar de repoblación (*Pinus pinaster*), en Arenas de San Pedro (Ávila). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Fox, R. L., Hashimoto, R. K. Thompson, J. R. y Peña, R. S. de la. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. Tenth int. Congr. Soil Sci. (Moscow) 4: 232-239. 1974.

Kamprath, E. J. Phosphorus. In P. A. Sánchez (ed.). A review of soils research in tropical Latin America. North California Agr. Exp. Sta Tech. Bull. 1972. Pp. 138-161.

Ketterings, Q. M.; Bigham, J. M.; y Laperche, V. 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1108 - 1117.

Kutiel, P. & Naveh, Z. (1987). The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. Faculty of Agricultural Engineering, Technion, Israel Institute of Technology. Journal Plant and Soil, N° 104, pp. 269-274.

KUTIEL, P.; NAVEVEH, Z. Y KUTIEL, 1990. The effect of a wildfire on soil nutrients and Vegetation in an Aleppo pine forest on Mount Carmel, Israel. En: Fire and ecosystems dynamics. (J.G. Goldammer y M.J. Jenkins, eds.) SPB Academic Publishing. The Hague.

Lal, R. and O.O.Akinremi. 1983. Physical properties of earthworm casts and surface soil as influenced by management. Soil Sci.

León, J. C. Capacidade fixadora de nitrógeno de Rhyzobium autóctone, estado do Sao Paulo. Bragantia. 1970.

López, J. (2006). Degradación del suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. Revista Ecosistemas, Vol. 15, N° 3, pp. 199-202.

(L. W. Martínez-Becerra; M. P. Ramos-Rodríguez; I. Castillo-Martínez; M. Bonilla-Vichot; R. Sotolongo-Sospedra. 2004). EFECTOS DE QUEMAS PRESCRITAS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN BOSQUES DE *Pinus tropicalis Morelet*, EN CUBA.

Martínez, B. 2006. Uso de quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet en Pinar del Río. 94 h. Tesis (en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

MARCOS E., TÁRREGA R., DE LUIS-CALABUIG E., 1999. Alteraciones producidas por un incendio forestal en el suelo de una repoblación de *Pinus radiata*. Edafología 6, 27-35.

Martínez, J., De las Heras, J. y Herranz, J. (1991). Impacto ecológico de los incendios forestales. La Mancha.

Martínez, L.W., Ramos, M.P. Castillo, I. 2003. Evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades químicas de los suelos en bosques de pinos. Informe final. Proyecto manejo del fuego. Universidad de Pinar del Río. 47 p

Martínez, B. 2006. Uso de quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet en Pinar del Río. 94 h. Tesis (en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.

Martínez H, E; Becerra D, M. 2007. Uso y efectos del fuego (en línea). Disponible en <http://www.sap.uchile.cl/docencia/suelos/Us0y%20efecto%20del%20Fuego.pdf> Consultado Enero 2016.

Mills, G. H. 2006. Impacto de la quema controlada sobre los principales parámetros químicos del suelo. En: Marca Liquida Agropecuaria. Sitios Argentinos de Producción Animal. p. 72 - 76.

Mills, GH. 2007. Impacto de la quema controlada sobre los principales parámetros químicos del suelo (en línea). Disponible en [http://www.marcaliquida.com.ar/ml159/ml%20159\\_72.pdf](http://www.marcaliquida.com.ar/ml159/ml%20159_72.pdf). Consultado Enero 2015.

MINAGRI, 1984. Suelos de la provincia de Pinar del Río. Editorial Científico-técnico. Ciudad de la Habana.

MINAGRI, 1985. Manual de interpretación de los índices físicos-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial científico técnico. Ciudad de la Habana. 136 p.

Nazar Anchorena, J.B. 1988. Pastizales naturales de La Pampa. Manejo en regiones semiáridas. Tomo II. Convenio AACREA – Provincia de La Pampa. Argentina. 112 pp.

Pláster, E. La ciencia del suelo y su manejo, Madrid: Editorial paraninfo. 1996.

Podwojewski, P. 2006. Constituants et propriétés des sols pour une mise en usage Effets du changement des usage sur les constituants et les propriétés des sols. Exemple des hautes terres des altitudes ou páramos en Equateur. Dossier Des habilitation A Diriger Des Recherches CR1- IRD. UR 176 Solutionssols, Usage des terres, Dégradation, Réhabilitation. 104p.

Poulenard, J.; Podwojewski, P.; Janeau, J. L.; y Collinet, J. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45:185 - 207.

Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant. Soil* 51: 73-108.

Reynard-Callanan, J. R.; Pope, G. A.; Gorrington, M. L.; y Feng, H. 2010. Effects of high-intensity forest fires on soil clay mineralogy. *Phys. Geogr.* 31(5):407 - 422.

Ross, W. 1976. Fire protection in industrial plantations of Zambia. *Savanna Afforestation in Africa*. FAO/DANIDA. Kaduna, Nigeria. P. 196-202.

(Rosero J y Osorio I, 2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. Cuaderno Activa, ISSN 2027-8101. N°5, Enero-Diciembre de 2013, pp. 59-67. Tecnológico de Antioquia, Colombia.

SADZAWKA R, A. y R. CAMPILLO R, 1999. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. p:93-103. Serie Remehue No. 71. Osorno, Chile.

Sánchez, P. A. 1981. Suelos del Trópico: Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica, 634 p.

SÁNCHEZ J.R., MANGAS V.L, ORTIZ C., BELLOT J., 1994. Forest fire effect on soil chemical properties and runoff. En: Soil erosion as a consequence of forest fires, Geoderma, Logroño, España. pp. 53-65.

Sánchez Ojeda, Federico (2015) Efecto de borde post quema sobre el contenido de carbono orgánico del suelo en una interfase sabana-bosque de galería en el Vichada, Colombia. Maestría tesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/52542/#sthash.maHgkZjc.dpuf>.

Sertsu, S.M., and Sánchez, P.A., (1978). Effects of heating on some changes in soil properties in relation to an ethiopian land management practice. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:940-944.

Shepherd, T., Saggar, S., Newman, R., Ross, C.W. and Dando, J.L. (2001). Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. Journal Plant and Soil. Vol. 39, pp. 465- 489.

SOARES, R. V. 1985. Incêndios Florestais – controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 213p.

SOARES, R. V. 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In. International Conference on Forest Fire Research. Coimbra. Universidade de Coimbra. p C.06- C.09.

Tisdall, J.M. y Oades, J.M. (1982). Organic matter water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141-163.

Trollope, W.S.W. 1991. Fire behavior and its significance in burning as a veld management practice. Prestige Farmers Day: Waterberg Plateau National Park, Namibia August, Grassland Society Southern Africa. 15 p.

Trollope, W.S.W. 1993. Effects of the fire regime on grassland and savanna rangelands in southern Africa. *Pro. Int Grassld. Cong. 1993- New Zealand - Australia*. 8 p.

ÚBEDA X., 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8, 41-49.

Ulery, A.L. y Graham, R.C. (1993). Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:135-140

Vega, J., Landsberg. J., Bará, S., Paysen, T., Fontúrbe L, M. y Alonso, M. (2000). Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de *P. pinaster* en suelos forestales de Galicia y Andalucía. *Cuadernos de la S.E.C.R*, N° 9, pp. 123-136.

WELLS, C. G.; CAMPBELL R. E.; DEBANO, L. F.; LEWIS, C. E.; FREDRIKSEN, R. L.; FRANKLIN, E. C.; FROELCH, R. C.; DUNN, P. H. 1979. Effects of fire on

soil. General Technical Report WO-7. Forest Service. U.S. Department of Agriculture. U.S.A. 34 pp.

Wilbur and Christensen (1983) found elevated K levels through the first growing season post- fire, increased Mg for two growing seasons post fire, but no increase in Ca. Conductivity is a general measure of soluble salts. Its increase in soils

Yildiz, O., Esen, D., Sarginci, M. & Toprak, B. (2009). Effects of forest fire on soil nutrients in Turkish pine (*Pinus brutia*, Ten). *Journal of Environmental Biology*, Vol. 31, pp. 11-13.

Yusiharni, E. y Gilkes, R. J. 2010. Soil minerals recover after they are damaged by bushfires. In *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world*. Brisbane, Australia. p. 104 - 107.

## ANEXOS

### Anexo 1. Temperatura y precipitación de Cumaribo Noviembre 2015

<b>Noviembre</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>precip.</b>	<b>Máy. media</b>	<b>Mín. media</b>
do. 01/11/2015	32°	24°	0 mm	32°	21°
lu. 02/11/2015	30°	23°	0 mm	32°	21°
ma. 03/11/2015	33°	24°	1 mm	32°	21°
mi. 04/11/2015	28°	25°	10 mm	33°	21°
ju. 05/11/2015	31°	24°	7 mm	33°	22°
vi. 06/11/2015	30°	23°	0 mm	33°	22°
sá. 07/11/2015	31°	23°	16 mm	33°	22°
do. 08/11/2015	31°	23°	10 mm	33°	22°
lu. 09/11/2015	33°	23°	2 mm	33°	22°
ma. 10/11/2015	28°	22°	26 mm	33°	22°
mi. 11/11/2015	29°	22°	0 mm	33°	22°
ju. 12/11/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
vi. 13/11/2015	32°	23°	8 mm	33°	22°
sá. 14/11/2015	31°	24°	12 mm	33°	22°

do. 15/11/2015	30°	23°	0 mm	33°	22°
lu. 16/11/2015	30°	23°	1 mm	33°	22°
ma. 17/11/2015	33°	23°	0 mm	33°	22°
mi. 18/11/2015	31°	27°	0 mm	33°	22°
ju. 19/11/2015	32°	24°	0 mm	33°	22°
vi. 20/11/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
sá. 21/11/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
do. 22/11/2015	30°	24°	0 mm	33°	22°
lu. 23/11/2015	32°	24°	1 mm	33°	22°
ma. 24/11/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
mi. 25/11/2015	31°	31°	0 mm	33°	22°
ju. 26/11/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
vi. 27/11/2015	32°	24°	0 mm	33°	22°
sá. 28/11/2015	32°	24°	5 mm	33°	22°
do. 29/11/2015	32°	24°	4 mm	33°	22°
lu. 30/11/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°

FUENTE: IDEAM (2015)

**Anexo 2. Temperatura y precipitación de Cumaribo  
Diciembre 2015**

<b>Diciembre</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>precip.</b>	<b>Máy. media</b>	<b>Mín. media</b>
ma. 01/12/2015	33°	23°	0 mm	33°	22°
mi. 02/12/2015	31°	24°	23 mm	33°	22°
ju. 03/12/2015	26°	22°	6 mm	33°	22°
vi. 04/12/2015	31°	22°	1 mm	33°	22°
sá. 05/12/2015	31°	22°	0 mm	33°	22°
do. 06/12/2015	31°	22°	0 mm	33°	22°
lu. 07/12/2015	31°	22°	0 mm	33°	22°
ma. 08/12/2015	33°	26°	0 mm	33°	22°
mi. 09/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
ju. 10/12/2015	32°	27°	0 mm	33°	22°
vi. 11/12/2015	33°	22°	0 mm	33°	22°
sá. 12/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
do. 13/12/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
lu. 14/12/2015	31°	24°	0 mm	33°	22°
ma. 15/12/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°

mi. 16/12/2015	31°	23°	0 mm	33°	22°
ju. 17/12/2015	28°	25°	4 mm	33°	22°
vi. 18/12/2015	30°	23°	0 mm	33°	22°
sá. 19/12/2015	31°	22°	0 mm	33°	22°
do. 20/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
lu. 21/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
ma. 22/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
mi. 23/12/2015	32°	22°	1 mm	33°	22°
ju. 24/12/2015	31°	22°	0 mm	33°	22°
vi. 25/12/2015	32°	21°	0 mm	33°	22°
sá. 26/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
do. 27/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
lu. 28/12/2015	32°	22°	0 mm	33°	22°
ma. 29/12/2015	33°	23°	0 mm	33°	22°
mi. 30/12/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°
ju. 31/12/2015	32°	23°	0 mm	33°	22°

FUENTE: IDEAM (2015)