



**UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
FACULTAD AGROFORESTAL**

**EFECTOS DE DOS TECNICAS QUEMA PRESCRITAS SOBRE LA REGENERACIÓN
NATURAL EN UN BOSQUE DE *PINUS CUBENSIS* GRISEB**

**Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en
CIENCIAS FORESTALES**

Esvillel Ferrer Pozo

“Año 60 de la Revolución”



**UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
FACULTAD AGROFORESTAL**

**EFECTOS DE DOS TECNICAS QUEMA PRESCRITA SOBRE LA REGENERACIÓN
NATURAL EN UN BOSQUE DE *PINUS CUBENSIS* GRISEB**

**Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en
CIENCIAS FORESTALES**

Autor: Lic. Esvillel Ferrer Pozo

Tutor: Dr.C. Francisco Durán Manual

“Año 60 de la Revolución”

DEDICATORIA

A los que contribuyeron a que este sueño de tantas personas se consolidara, y en especial a aquellos que me ayudaron a descubrir un rayo de luz en medio de la densa oscuridad.

En especial:

A mi mamá Rosy Alba Pozo Pinares,

A mi esposa Yinet Marzo Manuel,

A mi adorada hermana Miroslaba Pozo Pinares.

Pues para ellas:

La única fuerza y la única verdad que hay en esta vida es el amor.

El patriotismo no es más que amor, la amistad no es más que amor...

AGRADECIMIENTOS

A través de la realización de una tesis en opción al Grado Científico de Máster uno se percata de que sin la participación de algunas personas y entidades se dificultan aún más las cosas, tornándose en ocasiones imposible el avance. Esto es lo que me induce complacer a utilizar este pequeño espacio para ser justo y consecuente y así mostrarmos más sinceros agradecimientos:

A todas las personas que han facilitado las cosas para con este trabajo.

De manera especial, debo agradecer al doctor en ciencias Francisco Durán Manual por aceptarme para realizar esta tesis bajo su tutoría. Su confianza y apoyo en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, el cual me llevo para toda la vida.

A los compañeros del Cuerpo de Guardabosques de la provincia, necesito mencionarlos como unos de los primeros en mi lista de agradecimientos, ya que sin su colaboración y apoyo no hubiese sido posible la realización de esta investigación.

Es meritorio, un especial agradecimiento para el claustro de profesores de la Facultad Agroforestal de la Universidad de Guantánamo, por el cúmulo de conocimientos transmitido durante el tránsito por la Maestría, y por su ejemplo de profesionalidad, el cual nunca olvidaré. Para ellos las gracias.

A mis compañeros de grupo les deseo éxitos en su proyecto de tesis y en su vida profesional, en especial a Maricel y a Osnil.

Pues, por ustedes y para ustedes, es este trabajo el cual tomó tantas horas de mis noches y casi un año de mi vida.

RESUMEN

La investigación se realizó en un rodal de un bosque de *Pinus cubensis* perteneciente a la Unidad Empresarial de Base Silvícola de Yateras, con el objetivo de evaluar los efectos de dos técnicas de quemas prescritas, sobre la regeneración natural. Se establecieron seis parcelas de 500m², se aplicó quema a tres en avance y tres en retroceso. Se determinó la cantidad de material combustible por el método de la parcela de 1m². El comportamiento del fuego y los efectos de éste sobre las propiedades químicas del suelo, arrojó los siguientes resultados: en la quema en retroceso se redujo el 58,5% del material combustible y en avance, el 43,7%. Para ambos casos la intensidad de quema no sobrepasó las 165kcal.m⁻¹s⁻¹. En cuanto a los efectos de las quemas en las propiedades químicas del suelo, no se encontraron diferencias entre las técnicas utilizadas. El pH aumentó a los 15 días posteriores a la quema, con un aumento gradual hasta los 135 días con sus máximos valores, de 0-10cm, valores más altos que de 10-20cm de profundidad y una ligera disminución en ambas profundidades entre los 6 y 12 meses después del fuego; en retroceso a los quince días se observó un aumento de 0-10cm de profundidad alcanzando su máximo valor a los 135 días, y de 10-20cm tuvo un ligero descenso a los 105 días, seguido de un aumento entre los 120 y los 135 días, en avance. Se observó un aumento de la regeneración natural después del fuego aparejado a la disminución del material combustible y a la cobertura de la misma al suelo. Las especies más comunes en el renuevo son heliófilas, con alta capacidad de dispersión (semillas pequeñas ovaladas) o con reproducción vegetativa. Ocupando los primeros lugares después de aplicadas las quemas: *Pinus cubensis*, *Nephrolepis sp*, *Urena lobata L.*, *Brachiaria extensa*, *Digitaria decumbens*.

SUMMARY

The research was carried out in a stand of a forest of *Pinus cubensis* belonging to the Unidad Empresarial de Base Silvícola de Yateras, with the objective of evaluating the effects of two prescribed burning techniques on natural regeneration. Six plots of 500m² were established; burning was applied to three in advance and three in retreat. The amount of combustible material was determined by the 1m² plot method. The behavior of the fire and the effects of this on the chemical properties of the soil, gave the following results: in the backward combustion, 58.5% of the combustible material was reduced and in advance, 43.7%. For both cases the intensity of burning did not exceed 165kcal.m⁻¹s⁻¹. Regarding the effects of the burning on the chemical properties of the soil, no differences were found between the techniques used. The pH increased 15 days after the burn, with a gradual increase until 135 days with its maximum values, of 0-10cm, values higher than 10-20cm of depth and a slight decrease in both depths between 6 and 12 months after the fire; in regression to the fifteen days an increase of 0-10cm of depth was observed reaching its maximum value at 135 days, and of 10-20cm it had a slight decrease at 105 days, followed by an increase between 120 and 135 days , in advance. An increase in natural regeneration was observed after the fire caused by the decrease of the combustible material and its coverage to the ground. The most common species in the shoot are heliophilic, with high dispersal capacity (small or winged seeds) or with vegetative reproduction. Occupying the first places after burning, *Pinus cubensis*, *Nephrolepis* sp, *Urena lobata* L., *Brachiaria extensa*, *Digitaria decumbens*.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Dinámica del fuego en la sucesión de los pinares | 3 |
| 2.1.1. Plan de quema prescrita | 7 |
| 2.1.2. Técnicas de quemas | 7 |
| 2.2. Comportamiento del fuego | 8 |
| 2.2.1. Parámetros del comportamiento del fuego | 9 |
| 2.2.2. Factores del comportamiento del fuego | 10 |
| 2.3. Regeneración Natural en bosques de <i>Pinus Cubensis</i> | 13 |
| 2.4. Caracterización de los pinares de Cuba | 14 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |
| 3.1 Localización del área de investigación | 16 |
| 3.2 Caracterización del área de investigación | 17 |
| 3.3 Diseño experimental | 17 |
| 3.4 Procedimiento para estimar la carga de material combustible | 18 |
| 3.5 Determinación de los parámetros del comportamiento del fuego | 19 |
| 3.6 Determinación del efecto de dos técnicas de quemas prescritas sobre propiedades químicas del suelo | 20 |
| 3.7 Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la vegetación | 20 |
| 3.8 Evaluación del comportamiento de la vegetación donde se aplicó quemas prescritas en avance y retroceso | 22 |
| 3.9 Determinación de los efectos de las quemas prescritas sobre el estrato arbóreo .. | 22 |
| 3.10 Determinación de los parámetros ecológicos | 22 |
| 3.11 Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la regeneración natural de <i>P. cubensis</i> | 23 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 24 |
| 4.1. Carga de material combustible | 24 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Parámetros del comportamiento del fuego | 34 |
| 4.2.1. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en avance | 36 |
| 4.2.2. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en retroceso | 38 |
| 4.3. Comportamiento de las propiedades químicas del suelo | 41 |
| 4.4. Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la vegetación | 50 |
| 4.4.1. Comportamiento de la vegetación | 50 |
| 4.4.2. Indicadores ecológicos | 60 |
| 4.5 Evaluación de los efectos de las quemas prescritas sobre regeneración natural de <i>Pinus cubensis</i> | 63 |
| 4.6 Beneficios económicos de las quemas prescritas frente a la reforestación de bosques de <i>Pinus cubensis</i> | 65 |
| CONCLUSIONES | 68 |
| RECOMENDACIONES | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA | 1 |

I. INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido causante de muchas de las adaptaciones presentes en el género *Pinus* y de su amplia distribución en su hábitat nativo del hemisferio Norte y su alto rango expansivo como especie exótica en el hemisferio Sur (Agee, 1998), no obstante; para poder usar de forma sostenible los bienes y servicios que aportan los recursos forestales, el hombre ha tenido que conocer cuáles son los efectos del fuego en los diferentes elementos de los ecosistemas forestales. Esto ha propiciado que, en varios países, como Estados Unidos, Brasil y España se cuenta con suficiente información al respecto, llegando incluso al grado de legislar la forma de evaluar el impacto ambiental de los incendios forestales (Urrutia, 2012).

La puesta en práctica del concepto integral dentro del manejo de recursos forestales, ha implicado la búsqueda de alternativas versátiles y económicas para su implementación. Una de estas son las quemas prescritas. Aunque en Cuba hay muy pocos antecedentes sobre el tema, esta se implementa en varios países como una herramienta de apoyo a sus planes de manejo integral forestal (Durán, 2014a).

En correspondencia con lo anterior, se considera que la implementación de las quemas prescritas en Cuba se le debe prestar atención, para argumentar sus efectos a mediano y largo plazo sobre los diferentes elementos que conforman los pinares entre los que figuran las propiedades químicas del suelo.

El conocimiento de los efectos del fuego sobre las propiedades químicas del suelo, generados por la implementación de las quemas prescritas en pinares, es importante si se tiene en cuenta que la existencia de este tipo de bosque en Cuba es superior a las 250 000 ha. Las quemas prescritas en Cuba han sido aplicadas a nivel experimental, solo alguna de ellas describe los efectos de las quemas sobre las propiedades químicas del suelo en *Pinus caribaea*.

Existen estudios acerca de los efectos de las quemas prescritas en un bosque de *Pinus cubensis* en la provincia de Guantánamo. Estos se enfocan a las variaciones de comunidades fúngicas y la regeneración natural antes y después de aplicar quemas prescritas (Durán, 2015 y Pérez, 2012).

Problema científico:

¿Cuáles son los efectos de las quema prescrita sobre la regeneración natural en un bosque de *Pinus cubensis* Griseb de la provincia de Guantánamo?

Objeto: Bosque de *Pinus cubensis*.

Hipótesis:

Si se cuantifica la carga de material combustible, se determina el comportamiento del fuego, y las variaciones en las propiedades químicas del suelo entonces sería posible evaluar los efectos de dos técnicas de quemas prescritas sobre la regeneración natural en un bosque de *Pinus cubensis*.

Objetivo general:

Evaluar los efectos de dos técnicas de quemas prescritas, en avance y retroceso, sobre la regeneración natural en un rodal de un bosque de *Pinus cubensis*.

Objetivos específicos:

1. Cuantificar la carga de material combustible en un rodal de un bosque de *Pinus cubensis*.
2. Determinar los parámetros del comportamiento del fuego durante la aplicación de dos técnicas de quema en un rodal de un bosque de *Pinus cubensis*.
3. Determinar los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre las propiedades químicas del suelo y la regeneración natural en un rodal de un bosque de *Pinus cubensis*.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dinámica del fuego en la sucesión de los pinares

En el mundo existe gran controversia entre las quemas prescritas y las quemas controladas, para algunos es el mismo término y para otros, existe gran diferencia entre ellos. Según Flores y Benavides (2009a) las quemas prescritas se pueden definir como la aplicación consciente del fuego en un área definida y delimitada, bajo condiciones climáticas conocidas de bajo riesgo, para la consecución de uno o más objetivos dentro del manejo de los recursos forestales.

Por otra parte, Hudson y Salazar (1981) afirman que las quemas prescritas son quemas de combustibles en un área determinada bajo condiciones predeterminadas, de tal manera que el fuego es confinado sobre aquella área donde cumple objetivos específicos en el manejo del recurso; para estos autores los dos términos (quema prescrita y quema controlada) son sinónimos.

Martínez (2006), define las quemas prescritas como la aplicación relativamente controlada del fuego a combustibles silvestres en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego en un área predeterminada y al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y una tasa de propagación requerida para obtener objetivos planeados de manejo de recursos naturales.

No coincide con estos criterios Valentine (1971), citado por Aguirre (1981), quien considera que la quema prescrita es la aplicación sistemática planeada del fuego en un área, cuando el tiempo y la vegetación favorecen a un método particular de quema, con el propósito de lograr los máximos beneficios, mientras la quema controlada es la aplicación planeada y restricta del fuego a un área preseleccionada considerando el tiempo, lugar y control requerido del fuego.

Según la FAO (2008b), la quema prescrita es la aplicación controlada del fuego a la vegetación, ya sea en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que permiten limitar el fuego a un área predeterminada y al mismo tiempo, producir la intensidad de calor y la tasa de propagación necesarias para lograr los objetivos programados de manejo de los recursos.

La quema prescrita es la que se realiza según un plan técnico escrito bajo prescripción, condicionada por los combustibles, las condiciones meteorológicas y la topografía del terreno, para estimar un comportamiento del fuego que marque unos objetivos con compatibilidad ecológica. Martínez (2006), además plantea, que la quema controlada es la quema de combustible en un área determinada, de tal manera que el fuego es confinado sobre aquella, donde cumple objetivos específicos en el manejo del recurso.

Haltenhoff (1998), establece diferencias y plantea que la quema controlada no es más que el uso del fuego para eliminar una vegetación en forma dirigida, circumscripta o limitada a un área previamente determinada conforme a técnicas y procedimientos preestablecidos y con el fin primordial de mantener el fuego dentro de una línea de control perimetral instalada. Es una quema que se realiza según un plan no escrito, estimando lo que el fuego pueda hacer dentro de los límites definidos.

Pérez (2012), plantea que las quemas prescritas pueden usarse para favorecer el establecimiento de regeneración de los pinares, ya sea por siembra directa, plantación o en forma natural. Estas quemas favorecen una mejor exposición del suelo mineral, así como, el control de la vegetación indeseable que puede competir con la regeneración.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAP (1999), el fuego aplicado cuidadosamente a través de las quemas prescritas constituye la herramienta más eficiente en la ejecución del manejo del combustible para diferentes propósitos, entre los que se encuentran: el control de incendios forestales (como prevención y apoyo al combate), el control de plagas y enfermedades y la preparación del terreno para la repoblación.

Rodríguez (1996), planteó que con las quemas prescritas, además de facilitar las labores de plantación mediante la reducción de los materiales leñosos y hojas a cenizas en los pinares donde la descomposición es muy lenta a causa del alto grado de lignina, se busca obtener el efecto de fertilización por el enriquecimiento con los minerales de la ceniza, producto de la combustión; se emplean también para limpiar terrenos, regular y controlar la sucesión vegetal, reciclar nutrientes, regular y controlar plagas y enfermedades, reducir material combustible y favorecer la regeneración de determinadas especies forestales, entre otros usos.

El material combustible está compuesto por todas las plántulas con diámetro menor de 2,5 cm y altura menor de 1,80 m, materiales secos tales como: hojas, hierbas, acículas, hojarascas, humus y materiales leñosos secos de diferentes dimensiones que caen al piso del bosque (Julio, 1996).

Las actuaciones o estrategias preventivas deben fundamentarse en el diseño de prácticas de reducción de carga de combustible y quemas prescritas (Brown y Davis, 1973; Baeza *et al.*, 2002; Rodríguez y Silva, 2004; Knapp, *et al.* 2005 citados por Rodríguez y Molina, 2010). Vélez (2000), afirma que la quema prescrita bajo el arbolado en masas de coníferas puede ser uno de los métodos de eliminar el combustible para evitar, en primer lugar, la ignición de fuegos por el suelo y en segundo lugar, que estos puedan convertirse en fuegos de copa.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se podría afirmar que al aplicar quema prescrita, reduciría la cantidad de material combustible en los bosques de *P. cubensis*, lo que provocaría un aumento considerable de la regeneración natural de la especie, disminuyendo la competencia por los nutrientes, el agua y la luz, con las especies latifoliadas, además, reduciría el riesgo de surgimiento y propagación de los incendios.

A continuación, se relacionan y definen algunos de los conceptos antes mencionados, estableciéndose las diferencias fundamentales entre quemas controladas y quemas prescritas.

Quema controlada: es aquel fuego que se aplica en los ecosistemas forestales, con el fin primordial de eliminar la vegetación, tomando medidas para que este no se pase del área prevista. Es la quema de combustible en un área determinada, de tal manera que el fuego es confinado sobre aquella, donde cumple objetivos específicos en el manejo del recurso.

Quema prescrita: se coincide con varios autores cuando se plantea que es la aplicación de fuego en ecosistemas forestales, a combustibles con características determinadas, en condiciones meteorológicas dadas, bajo un plan previamente elaborado.

La diferencia fundamental entre quema prescrita y quema controlada radica en que en la primera se conoce cómo el fuego se comportará y se elabora previamente un plan de quema, en la segunda, solamente se confina un área para cumplir determinados objetivos, bajo condiciones previstas, pero sin elaborar un plan.

La quema prescrita es un método que usa la silvicultura preventiva y persigue modificar la estructura de los combustibles muertos situados sobre el suelo del monte y las formas de vegetación para dificultar la propagación del fuego mediante actuaciones lineales y en masas que crecen discontinuidades, que pueden favorecer la regeneración natural de las especies de interés, entre otros objetivos (Vega *et al.* 2001).

Vélez (2000), define la silvicultura preventiva como un conjunto de reglas que se incluyen dentro de la silvicultura general, con la finalidad de conseguir estructuras de masas con menor grado de combustibilidad, es decir, con mayor resistencia a la propagación del fuego.

La solución de muchos de los problemas que aparecen, debido a los efectos provocados por los incendios forestales, está en la aplicación de medidas de silvicultura preventiva que modifiquen la estructura actual de las unidades de vegetación y favorezcan medidas de autoprotección frente al riesgo de incendios forestales (Jurado, 2006).

Para Flores y Benavides (2009a), las quemas prescritas se apoyan en el principio de que los efectos del fuego sobre el recurso forestal son en ocasiones, beneficiosos. En este orden pueden ocurrir en incendios naturales, de forma fortuita y dependiendo de las condiciones del lugar.

SEMARNAP (2006), plantea que es mejor conseguir las ventajas del fuego en forma deliberada y controlada, es decir, en las quemas prescritas. La aplicación de las quemas prescritas es sin duda, el método más práctico y más barato para reducir acumulaciones de material combustible, sobre todo, cuando se piensa en la prevención de incendios, mediante estos trabajos en el campo.

Por su parte, Wade y Lunsford (1989), citados por Flores y Benavides (2009a), señalan que los combustibles se acumulan rápidamente en los rodales de pino de 5 a 6 años de edad y pueden llegar a ser de gran riesgo para la ocurrencia y propagación de incendios forestales.

La quema prescrita es una de las mejores soluciones para el problema de la acumulación del material combustible en poblaciones de pino, que son especies resistentes a los fuegos de baja intensidad. Por ser una técnica relativamente barata, su aplicación podría representar mucho en la economía y menor costo de protección contra incendios

forestales (Soares, 1990). Es razonable la utilización de las quemas prescritas en estos bosques para lograr la permanencia de tan importante formación, para esto, es necesario tener en cuenta que la técnica usada, es un elemento esencial en el plan de quema.

Según la FAO (2009), se están elaborando legislaciones que reconocen las quemas prescritas como una herramienta para reducir las cargas de combustible, se analizan sus ventajas en la prevención de los incendios descontrolados y se consideran como una herramienta para la restauración y el mantenimiento de ecosistemas.

2.1.1. Plan de quema prescrita

Ramos (2010), señala que la quema prescrita es un trabajo muy técnico que exige el conocimiento del comportamiento del fuego, sus efectos sobre el ambiente y técnicas de combate. Por eso la elaboración de un plan escrito detallado es recomendable para cada quema. Los principales puntos abordados en un plan de quema son:

- Análisis: descripción y ubicación del área (combustibles, sistema ecológico, análisis del tiempo atmosférico, sitios vecinos, un mapa con caminos de acceso y vías de escape, límites, dirección predominante de los vientos, topografía y vegetación).
- Prescripción: objetivo de la quema (general y específicos), comportamiento deseado del fuego, condiciones climáticas ideales, técnica de quema a emplear.
- Preparación: establecer líneas de control, planificar la liquidación, la guardia de cenizas, informar al público; designar jefes de quema, de ignición, de control y de liquidación y patrullaje.
- Ejecución: chequear la preparación, las condiciones meteorológicas, las líneas de control, esclarecer a los participantes sobre el punto de inicio, la secuencia de la quema, la seguridad, las comunicaciones.
- Evaluación de la quema: cumplimiento de los objetivos, cumplimiento de la prescripción, técnica de quema usada, costos y beneficios, efectos en el suelo, el aire, la vegetación y la vida silvestre.

2.1.2. Técnicas de quemas

Existen varias técnicas de quema que pueden ser utilizadas para alcanzar los objetivos bajo diferentes condiciones de clima, topografía y de combustibles. Batista (1990), plantea

que tomando como base el comportamiento y la velocidad de propagación, el fuego puede moverse en la misma dirección del viento (quema a favor del viento), en la dirección opuesta al viento (quema contra el viento), o formando un ángulo recto con el viento (quema de flancos). La quema a favor del viento es la más intensa, por presentar la mayor velocidad de propagación, una amplia zona de quema y las mayores alturas de llama. La quema contra el viento, es todo lo contrario, y la de flancos presenta intensidades intermedias entre las dos anteriores.

La quema contra el viento (retroceso): consiste básicamente en hacer el fuego progresivo en dirección contraria al viento o en el sentido descendiente a la inclinación de la pendiente, el fuego es iniciado a lo largo de una línea de base preparada, que puede ser una trocha, un camino u otra forma de barrera, y se deja que se propague contra la dirección del viento (en el sentido del declive). Esta es la más fácil y segura de aplicar, entre las técnicas de quemas controladas (Batista, 1995).

La quema ladera abajo produce efectos semejantes al del fuego en contra del viento y el fuego que se desplaza pendiente arriba presenta características similares a la quema a favor del viento.

La quema en fajas a favor del viento: consiste en colocar una línea de fuego o una serie de líneas de fuego en un área, de tal forma que ninguna línea individual de fuego pueda desarrollar alta intensidad antes de encontrar otra línea o un corta fuego. Las distancias entre las líneas de fuego dependen de las condiciones locales, variando generalmente de 20 a 60m. Este método es relativamente rápido, flexible y generalmente con menor costo. Puede ser usado para reducciones periódicas de combustible en el interior de plantaciones.

Las principales desventajas de la quema en fajas a favor del viento es la necesidad de acceso al interior del área y el aumento de la intensidad en el encuentro de las líneas de fuego, tornándose mayor la posibilidad de secado letal a las copas (Brown y Davis, 1973; Wade y Lunsford, 1989; De Ronde *et al.* 1990).

2. 2. Comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego es un aspecto fundamental a tener en cuenta para la aplicación de quemas prescritas. Distintos autores han tratado el tema (Rodríguez et

al.2000 y Rodríguez 2009), plantean que el comportamiento del fuego se refiere a la manera en que el material combustible se inflama, cómo se desarrollan las llamas y cómo el fuego se propaga.

El comportamiento del fuego ha sido definido como la manera según la cual el fuego reacciona a las variables combustible, clima y topografía (FAO, 1986). En términos simples, el comportamiento del fuego está referido a lo que hace el fuego cuando está presente en un estrato de vegetación, es decir, en qué forma se propaga, a qué velocidad avanzan sus diferentes frentes, los estratos de expansión del fuego. Rojo *et al.*(2001), plantean que el fuego es un factor ecológico necesario en los pinares donde la acumulación de combustible puede influir de manera negativa en la sucesión de estos.

Las características de las llamas, el dinamismo que se observa en la columna de convección, la cantidad y forma de transferencia al ambiente de la energía que se libera con la combustión, la forma, compacidad y color de la columna de humo, determinan en gran medida los efectos de un incendio forestal (Julio, 1996).

Según Ciesla (1995), los incendios dependen de los combustibles más que de cualquier otro elemento. También factores climáticos, como la temperatura, la humedad y la estabilidad atmosférica influyen en la probabilidad de que prenda un fuego y en la velocidad con que se propague. Agrega dicho autor que la topografía puede influir considerablemente en el comportamiento de los incendios.

Todo lo expuesto anteriormente, permite afirmar que el comportamiento del fuego depende de los factores topográficos, el material combustible y las condiciones meteorológicas.

2.2.1. Parámetros del comportamiento del fuego

Los parámetros del comportamiento del fuego son utilizados por varios investigadores en las descripciones de las condiciones adecuadas para realizar quemas prescritas.

A partir de los parámetros intensidad, el calor liberado por unidad de área, la longitud de la llama, la velocidad de propagación y la altura de secado letal, es posible evaluar el comportamiento del fuego.

La intensidad del fuego es uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento del mismo (Byram, 1959), citado por Batista *et al.* (2001), define este término como la cantidad de energía liberada por unidad de tiempo y por unidad de longitud de frente de fuego. Numéricamente es igual al producto del combustible disponible, por su calor de combustión y por la velocidad de propagación del fuego.

El calor liberado es la cantidad total de energía liberada por unidad de área durante un período de tiempo de combustión y puede ser estimada a través de la intensidad del fuego y la velocidad de propagación (Batista, 1998). La longitud de la llama es definida por Molina (1993), como la longitud (según el eje de esta) desde el centro de la base de la llama hasta su extremo superior.

De acuerdo con Soares (1996), la longitud de las llamas puede ser estimada en el propio incendio a través de fotografías, donde se tome la referencia para servir de escala, si la inclinación de las llamas es de 45° o más, la longitud de las llamas es prácticamente igual a su altura, que puede ser vista a través de la elevación de carbonización de los árboles, si la inclinación es menor que 45 °la altura será siempre menor que la longitud.

Por su parte, la velocidad de propagación del fuego según Soares (1985), es la distancia recorrida por el fuego en un determinado período de tiempo y puede ser estimada a través de modelos matemáticos o medida directamente en el campo.

2.2.2. Factores del comportamiento del fuego

El término topografía se refiere a las características físicas de la superficie de la tierra. El conocimiento de la topografía es importante para comprender el comportamiento del fuego (Heikkila, *et al.* 1993), citado por Ramos (2010).

La topografía es el factor más constante que influye sobre los otros dos grupos de factores del comportamiento del fuego, en ella se deben considerar cuatro aspectos: el relieve, la exposición, la elevación y la inclinación. A medida que aumenta la inclinación, la velocidad de propagación también aumenta (SEMARNAP, 1999).

De acuerdo a lo planteado por SEMARNAP (2006), los elementos más importantes de la topografía son: la pendiente, la exposición y la altitud del terreno. Estos elementos del

terreno, hacen que se encuentren diferentes microclimas de un lugar a otro, y que, en los combustibles, sea diferente su contenido de humedad.

Los combustibles forestales comprenden todos aquellos materiales de origen vegetal dispuestos en el terreno (vivos o muertos), susceptibles a la ignición y a la inflamabilidad a través de los cuales es posible la iniciación y propagación de los incendios forestales.

En este orden, Ramos (2010), plantea que una de las características del combustible forestal es su cantidad, la que se define como el peso o volumen de combustible disponible existente en un área determinada; se evalúa en términos de peso seco o anhidro por unidad de superficie ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ o $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Su importancia está dada por la relación directa que tiene con la cantidad potencial de energía calórica que se puede liberar en la quema (energía del combustible), por lo que, a mayor cantidad de combustible, disponible más intensidad tiene el incendio; no obstante, cuando el combustible consumido se reduce a la mitad, la intensidad se reduce a la cuarta parte (Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF, 1994 citado por Martínez, 2006)).

La estimación de la cantidad de combustible, generalmente se expresa en términos de peso seco al horno (estufa) por unidad de área y es un factor importante en planes de prevención de incendios, especialmente en programas de quema controlada (Ramos, 2010).

La cuantificación de los materiales combustibles se considera indispensable cuando se piensan realizar acciones preventivas contra los incendios y en particular, si estas están enfocadas a la aplicación de quemas prescritas.

Para poder evaluar la efectividad de una quema (Sánchez y Zerecero, 1983), citados por Ramos (2010), se requiere conocer la cantidad de combustible existente en el bosque antes y después de efectuarla. Para la cuantificación del combustible disponible puede utilizarse el método de la parcela de 1 m^2 , el de las intersecciones planares o métodos indirectos (Ramos, 2010).

El material combustible es fundamental para la ocurrencia y propagación del fuego, porque es uno de los elementos componentes del triángulo del fuego (combustible, oxígeno y

temperatura de ignición) y es el único elemento sobre el cual se puede actuar directamente (Batista, 1995).

Los combustibles pueden ser clasificados según su estado en muertos o vivos (Rodríguez *et al.* 2002), citados por Flores *et al.* (2010a). En los primeros se incluyen las ramas caídas, hojas secas, pastos secos y otros, mientras que, en los vivos, se encuentran las hierbas, matorrales y las plantaciones.

El concepto de combustibles muertos se refiere a todo combustible ligero o pesado que se encuentra en el piso forestal. Específicamente el combustible ligero se refiere a la capa de hojarasca y/o acículas. Mientras que los combustibles pesados constan de troncos, ramas y ramillas dispuestas en el piso forestal (Flores *et al.* 2007). Otra clasificación, los agrupa en combustibles totales, residuales y disponibles, siendo estos últimos los que normalmente se queman. Se dice que el combustible disponible representa el 70 u 85% del total del material con diámetros menores de 2,5cm (Ramos, 2010).

Flores *et al.* (2010a), plantean que se requiere implementar estrategias de manejo de combustibles que favorezcan su reducción. La continuidad es otra propiedad importante a ser considerada sobre los combustibles. Se refiere a la distribución de los combustibles, tanto horizontal como vertical. La continuidad controla parcialmente hacia dónde el fuego puede ir y a la velocidad con que se propague.

De acuerdo con Flores *et al.* (1993), citados por Flores y Benavides (2009b), aunque los combustibles protegen el suelo, es necesario que la capa que forman en el piso forestal permita que la semilla esté en contacto directo con el suelo y pueda establecerse la plántula. En consonancia con lo anterior, estos autores argumentan que en teoría se espera que tarde o temprano se presente un incendio en las áreas con alta carga de combustibles, la ocurrencia del fuego podría propiciar un alto nivel de regeneración.

La continuidad horizontal puede ser entendida como una distribución uniforme o no uniforme de los combustibles sobre un área, de forma que posibilite o no la propagación lineal u horizontal del fuego (Ramos, 2010). La distribución vertical se debe a la disposición de los combustibles a diversas alturas, como si fuesen grados de una escala, tales como musgos adheridos a los troncos de los árboles, hojas, ramas secas prendidas

en los arbustos, pequeños árboles creciendo próximos a árboles mayores, facilitando la propagación vertical del fuego (Anderson y Brown, 1988).

Las condiciones meteorológicas tienen un efecto pronunciado sobre el comportamiento del fuego, actuando directamente sobre la combustión y sobre los otros factores ambientales, como, por ejemplo, los combustibles. Dentro de los elementos meteorológicos más importantes se pueden citar el viento, la temperatura y la humedad relativa del aire (SEMARNAP, 1999).

2.3. Regeneración Natural en bosques de *Pinus Cubensis*

Las especies de pinos cubanos tienen la peculiaridad de desarrollarse en suelos muy pobres, donde otras especies arbóreas no prosperan. El *Pinus cubensis Griseb* es una especie de la familia Pinaceae endémica de la región noreste de Cuba. Según Zaldívar *et al.*(2009), en la parte oriental del país, ocupando la sierra de Nipe, la sierra de Sagua – Moa - Baracoa y algunos pinares en Monte Cristo, Miraflores, en contacto con los charrascales y montes semicaducifolio sobre suelos ácidos.

Según Samek (1967) y Betancourt (2000) citados por Zaldívar *et al.* (2009), la regeneración natural del *Pinus cubensis* no ocurre en lugares muy sombreados o donde el suelo está cubierto por abundante hojarasca. Una de las preocupaciones más importantes en la actividad forestal es asegurar la continuidad del recurso.

Por lo general, los árboles de esta especie alcanzan hasta 35 m de altura y 50-60 cm de diámetro. Pero Matos (1963) citado por Zaldívar *et al.*(2009), plantea que al realizar el inventario de estos pinares en 1961 encontraron en sitios apartados y de difícil acceso de la sierra de Cristal grandes ejemplares de esta especie, que alcanzaban 60 m de altura y un 1 metro o más de diámetro.

La corona del árbol es cónica cuando es joven, se vuelve poco profunda y se abre con la edad. La corteza es gruesa, de color marrón grisáceo, con crestas gruesas y cuadrangulares o pequeñas placas divididas por profundos surcos. Las ramas son delgadas, sostenidas horizontalmente, escasamente cubiertas de follaje. Las ramitas son lampiñas, de color marrón rojizo, pero aligeradas por una capa cerosa, que se vuelven un tanto ásperas con las bases de las hojas de escamas (Zaldívar *et al.* (2009)).

Las yemas foliares tienen una longitud entre 8 y 15 mm. No son resinosos. Las hojas (agujas) nacen en haces de 2 (a veces 3), que miden de 8 a 15 cm de largo. Son rígidos y rectos, se retienen durante 2 o 3 años en el árbol y son de color verde oscuro. Semillas aladas, de color carmelita claro. Según Matos (1963) y Samek (1967), citados por Zaldívar *et al.* (2009), el promedio de semillas por conos fluctúa entre 30 y 40, y el número de ellas por kg entre 35.000 y 40.000 según Betancourt (1987).

Los conos de polen miden entre 15 y 20 mm de largo, y son de color carmelita. Los conos de semilla miden de 4 a 7 cm de largo, tienen una forma ampliamente obovoide y están compuestos de 50 a 90 escamas. Son de color verde cuando son jóvenes, más tarde maduran de color marrón amarillento oscuro y se mantienen en pedúnculos de 1 a 2 cm. Las escamas de semillas tienen forma de paleta, la cara expuesta tiene forma de diamante horizontal, cruzada por una cresta coronada por un pequeño umbo en forma de diamante con una espina corta y fácil de romper.

La floración se produce durante los meses de febrero y marzo; los conos maduran de finales de julio a septiembre, en ocasiones, hasta principios de octubre del siguiente año.

2.4. Caracterización de los pinares de Cuba

Los pinares naturales bien arbolados eran escasos en Cuba en 1959. A partir de entonces, se tomaron medidas para proteger los rodales, algunos de los cuales han constituido la fuente de semillas para el fomento de nuevas plantaciones (Betancourt, 1966).

Sablón (1984), plantea que las especies de pinos cubanos tienen la peculiaridad de desarrollarse en suelos muy pobres, donde otras especies arbóreas no prosperan. Lo que unido a su rápido crecimiento hace que todas se mantengan incluidas entre las prioritarias para los planes de reforestación en la estrategia trazada hasta 2015, tanto con fines de producción como protectores (GEAM, 2006).

Se considera que los pinares del occidente del país debieron ocupar la mayor parte de la provincia de Pinar del Río, con la excepción de los mogotes, parte de la Sierra del Rosario, los sitios cubiertos de latifolias dentro de las alturas pizarrosas y la vegetación costera (Álvarez y Varona, 1988), estos autores indican además, que el *Pinus tropicalis* Morelet, ocupó tanto las alturas de pizarras como las sabanas arenosas, en asociación con el

Pinus caribaea Morelet; pero sólo en los sitios más secos y pobres, porque su intolerancia a la sombra no le permitía competir con las latifolias.

En la parte oriental del país, en los pinares de la Sierra Maestra, la especie *Pinus maestrensis* Bisce, es la más esciófila de las especies de pinos cubanos, que entra en contacto con el bosque latifolio hasta el piso montano de la sierra, (Varona, 1982).

Por su parte, Bisce (1988), plantea que el *Pinus cubensis* Grisebes una especie endémica de la región nororiental de Cuba, se encuentra desde la Sierra de Nipe hacia el este, hasta Baracoa. Su distribución altitudinal varía hasta 1000 metros sobre el nivel del mar (msnm), con precipitaciones anuales de 1500 a 3000mm, y temperaturas de 21 a 25°C. Es una especie heliófila que forma rodales puros de tamaño mediano, separados por fajas de especies latifoliadas, principalmente a lo largo de cursos de agua.

En estos sitios, a veces se encuentran especies como *Calophyllum utile* Bisce, *Geoffrea inermes* Sw., *Terminalia orientalis* Monachino, *Terminalia nipensis* Alain y *Coccothrinax orientalis* (León) O. Muñiz y Borhidi y otras plantas arborescentes, así como helechos del género *Pteridium* y plantas herbáceas. Crecen en suelos lateríticos, muy permeables y con elevado contenido de hierro. También se encuentran en suelos de origen calizo, soportan hasta cinco meses secos al año (Betancourt, 1987).

La regeneración natural no ocurre en lugares muy sombreados o donde el suelo está cubierto por abundante hojarasca. También en tiempos pasados fue muy afectada por los incendios, especialmente en la Sierra de Nipe, hay sitios donde ha sido muy escasa, a causa de los factores citados o motivado por la escasez de árboles productores de semillas. Los silvicultores que realizaron en 1961 el inventario forestal de los pinares de *P. cubensis*, levantaron 992 sitios de muestreo. De estos sitios, no tenían regeneración natural 203 (20,46%), muy escasa en 237 (23,90%), regular en 235 (23,68%), buena en 237 (23,90%) y excelente en 80 (8,06%) (Betancourt, 1987).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de investigación

El experimento se realizó en un fragmento de bosque natural de *P. cubensis* perteneciente a la Unidad Empresarial de Base Silvícola (UEB), Yateras, de la Empresa Forestal Integral Guantánamo, en la localidad Monte Llano, municipio Yateras, Provincia Guantánamo, en el lote 11 rodal 22. En la coordenada X 677,263 y la y 187,263. En la Figura 1 se muestra el mapa de localización del área de investigación.

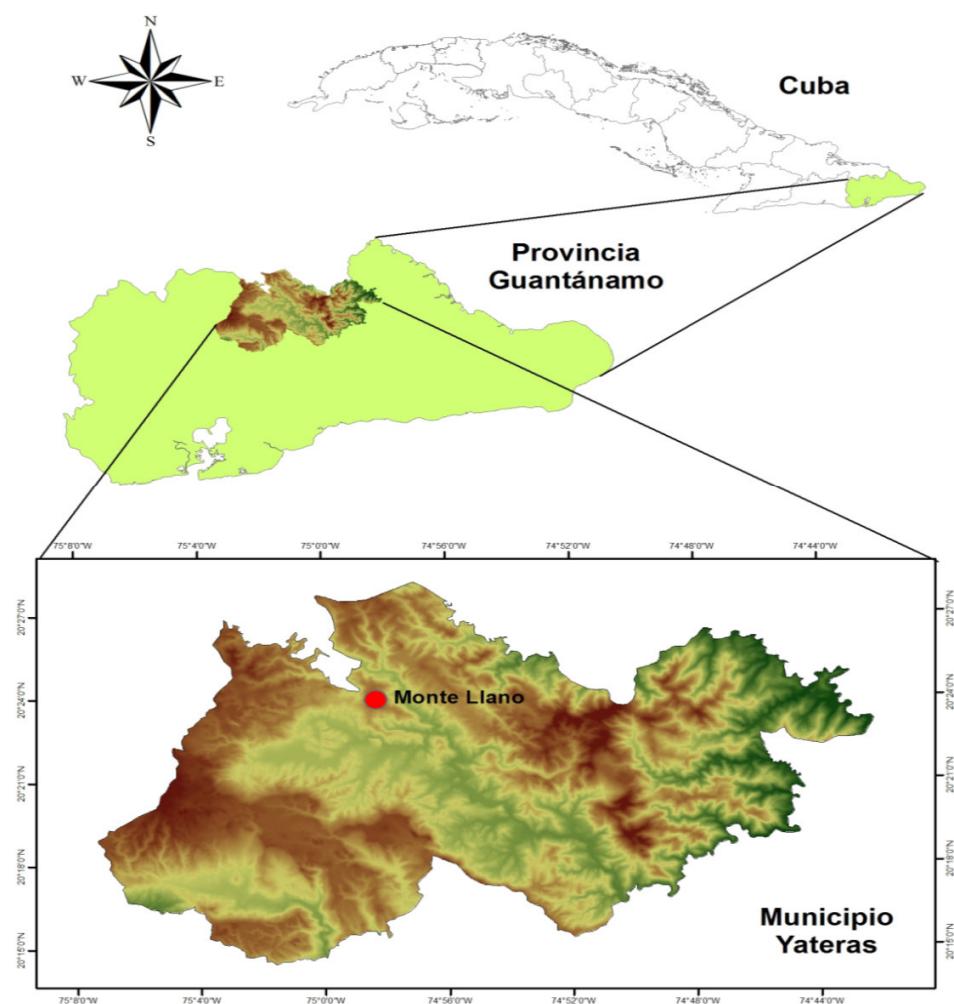


Figura 1. Localización del área de investigación

Proyección Cónica Conforme de Lambert

Elipsoide Clarke 1866 Cuba Sur

3.2 Caracterización del área de investigación

La zona de estudio escogida es montañosa con una pendiente de 5 a 7%, una superficie de 3 ha y 679 metros sobre el nivel del mar (msnm), temperatura media anual es de 22,88°C, la temperatura máxima absoluta es de 29,8°C y la mínima absoluta es de 17,2°C.

El suelo predominante, según la última clasificación de Hernández *et al.*(1999), es Ferralítico Rojo Típico, el material de origen es la caliza dura, fuertemente saturada, el contenido de materia orgánica varía desde 4,4 a 7%, fuertemente ondulado, entre 600 y 1 600 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Existen en los rodales de *P. cubensis* varias especies latifoliadas tales como: *Calophyllum utile* Bisce, *Geoffrea inermes* Sw., *Terminalia orientalis* Monachino, *Terminalia nipensis* Alain y *Coccothrinas orientalis* León) O. Muñiz y Borhidi y otras plantas, así como, helechos del género *Pteridium* y plantas herbáceas, también se encuentran especies de lianas y epífitas.

3.3 Diseño experimental

Para la investigación se utilizó un diseño completamente aleatorio, evaluando la carga de material combustible, el comportamiento del fuego, algunas características del suelo, efectos del fuego sobre las propiedades químicas del suelo, y la regeneración natural en parcelas de un fragmento de bosque de pinos. Debido a esto fue necesario combinar en el mismo lugar, distintos tipos de parcelas.

Se aplicaron quemas prescritas en seis parcelas rectangulares de 20 X 50m, a tres en avance y a tres en retroceso. Se determinó el peso seco del material combustible antes y después de las quemas para su evaluación.

Se evaluó el comportamiento del fuego. Se determinó la cantidad de material combustible por el método de la parcela de 1m². Para realizar los análisis químicos del suelo se tomaron seis muestras de 0-10 y de 10-20cm de profundidad por cada parcela de 20 x 50m.

3.4 Procedimiento para estimar la carga de material combustible

La determinación de la carga de material combustible disponible se realizó una semana antes y una después de aplicadas las quemas en las seis parcelas quemadas, de acuerdo con Ramos (2010), y utilizada por Pérez (2012), Urrutia (2012), Durán (2014b) y Durán (2015), que consiste en estimar el peso de todo el material combustible disponible depositado en una parcela de 1m². Para esto se siguieron los pasos siguientes:

1. Se ubicó cada 10m en el centro de las tres parcelas de 1 000m² una parcela de 1m², la primera se estableció a diez metros del borde, delimitando cada lado de la parcela, cortando primero el material combustible de forma perpendicular con un machete y, después, separándolo del borde. No se caminó sobre la parcela para evitar la compactación del material.
2. Se determinó la profundidad del mantillo (capa de acículas, hojas, ramillas, humus y conos) hasta el suelo mineral, por parcela y la media. Para esto se tomaron 4 mediciones, una en cada lado de la parcela.
3. Separando el material que se encontraba en la parcela de acuerdo con la siguiente clasificación: Material verde con diámetro menor de 2,5cm y altura menor de 1,80m, Misceláneas (materiales secos tales como: hojas, hierbas, acículas, hojarascas, humus, y otros), Clase I: materiales leñosos secos con diámetros <0,6cm, Clase II: materiales leñosos secos con diámetros entre 0,6 y 2,5cm, Clase III: materiales leñosos secos con diámetros entre 2,5 y 7,5cm y Clase IV: materiales leñosos secos con diámetros >7,5cm.
4. Se obtuvo el peso húmedo (verde) del material por tipo, por parcela y la media.
5. Con los datos del peso húmedo obtenido en el punto anterior, se hizo para cada clase de material combustible una descripción estadística (media, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar), se calculó también para los distintos tipos de combustibles, el error de muestreo (Em), ecuación (1) y el tamaño de la muestra (n), ecuación (2).

$$Em \% = \left(\frac{Em}{\bar{x}} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde: Em % = error de muestreo en %, \bar{x} = media aritmética.

$$n = \left(\frac{CV * t}{Em \%} \right)^2 \quad (2)$$

Donde: n = tamaño de la muestra, CV = coeficiente de variación.

El Em% no debe pasar de 20 %. Si esto ocurre, es necesario determinar la cantidad de parcelas que deben muestrearse para llevar el Em% a menos del 20 %.

6. Se llevaron varias muestras de 50g por tipo de material combustible al Laboratorio de Química de la Facultad Agroforestal de Montaña de la Universidad de Guantánamo y se secaron en la estufa. El secado se hizo a 75°C hasta peso constante, se utilizó esta fórmula para determinar el tamaño de la muestra debido a que se estableció que la población es infinita.

7. Se determinó la humedad del material combustible por tipo a través de la ecuación (3).

$$Hm = \left(\frac{Ph - Ps}{Ps} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde: Hm = humedad del material combustible, Ph = peso húmedo, Ps = peso seco.

8. Se estimó el peso seco del material combustible por tipo, por parcela y por hectárea.

Se realizó un análisis de varianza entre las parcelas por clase de material combustible antes de las quemas y se realizó un análisis de varianza simple, con el paquete estadístico SPSS Versión 15.0, a través del test de Bonferroni para $p \leq 0,05$ y entre el material combustible promedio por tipo antes y después de las quemas a través de la prueba de "t" para $p \leq 0,05$. Se evaluó la cantidad de material combustible de acuerdo con los rangos descritos por Julio (1996), según el autor, es baja de 0 a 20t.ha^{-1} , media >20 a 40t.ha^{-1} , alta >40 a 80t.ha^{-1} y muy alta mayor de 80t.ha^{-1} .

3.5 Determinación de los parámetros del comportamiento del fuego

Se evaluaron los parámetros del comportamiento del fuego: intensidad del fuego según Byram (1959), calor liberado por unidad de área, altura de las llamas por la fórmula descrita por Batista (1990) y la velocidad de propagación del fuego se determinó de acuerdo con lo planteado por Ramos (2010), ubicando varios puntos y calculando el tiempo que el fuego demoró en llegar, expresando el resultado en metros por segundo. Se

clasificó según Bottello y Cabral (1990), que plantean que es lenta cuando es menor de $0,033 \text{ m.s}^{-1}$, media cuando está entre $0,033$ y $0,166 \text{ m.s}^{-1}$, alta entre $0,166$ y $1,166 \text{ m.s}^{-1}$ y extrema, cuando es mayor de $1,166 \text{ m.s}^{-1}$.

3.6Determinación del efecto de dos técnicas de quemas prescritas sobre propiedades químicas del suelo

Para la evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades químicas del suelo, se analizaron los valores de pH y los contenidos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , y Materia Orgánica. El análisis se realizó en el Laboratorio Provincial de Suelo de Guantánamo, perteneciente al Ministerio de la Agricultura. Para ello, se tomaron seis muestras al azar por parcela de $1\ 000 \text{ m}^2$, de 0 a 10cm y 10 a 20cm de profundidad, siete días antes de aplicar las dos técnicas de quemas prescritas y 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 días, 6 y 12 meses después de las quemas. Se tuvo en cuenta la metodología utilizada por (Martínez 2006), Pérez 2012, Durán 2014_a y Durán 2015).

Se evaluó el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}) por el método complexométrico, el sodio (Na^+) por el método de fotometría de llama, y por el método de Oniani el potasio (K^+), en el caso del porcentaje de materia orgánica (% MO) se evaluó por el método de Tiurin y el pH por el método potenciométrico.

3.7Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la vegetación

Para el estudio de vegetación se tuvo en cuenta diferentes factores: comportamiento de la vegetación, efectos del fuego en el estrato arbóreo, la diversidad biológica y regeneración natural del *P. cubensis*, se determinó la cantidad de parcelas necesarias, resultando 4 parcelas de $10 \times 10 \text{ m}$ para el método en avance y 4 parcelas de $10 \times 10 \text{ m}$ para el método en retroceso, las que fueron distribuidas en las tres parcelas de $1\ 000 \text{ m}^2$ utilizadas en cada método de quema prescrita y subdivididas en parcelas de $1 \times 1 \text{ m}$, para evaluar el estrato herbáceo. La cantidad de parcelas se determinó teniendo como variable principal el número de especie, determinando si la población era finita o infinita a través de la siguiente fórmula:

$$f = \frac{n}{N'}$$

donde:

f = fracción o intensidad de muestreo.

n =cantidad de unidades o superficie muestreada.

N' =número de unidades de la población o superficie total.

Como $(1-f)$ es $< 0,98$ la población es finita y se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2 + \frac{t^2 s_x^2}{N'}}$$

donde:

t = distribución de t de Student para un nivel de significación 0,05.

s^2 = varianza.

E =error.

Para determinar los errores de muestreo se emplearon las siguientes fórmulas:

$$s_{\bar{x}} = \pm \frac{s_x}{\sqrt{n}} \sqrt{(1-f)} \quad \text{Error estándar.}$$

$$E_a = \pm t * s_{\bar{x}} \quad \text{Error absoluto.}$$

$$E_r = \pm \frac{t * s_{\bar{x}}}{\bar{x}} * 100 \quad \text{Error relativo.}$$

donde: (\bar{x}) = media.

3.8 Evaluación del comportamiento de la vegetación donde se aplicó quemas prescritas en avance y retroceso

Para las tres parcelas de 1000 m² donde se aplicó quema en avance y las tres quemadas en retroceso, se realizó un listado florístico del estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo una semana antes, una semana, dos y tres meses después de la quema. Determinado la cantidad de especie por estratos y la cantidad de individuos por especie en las parcelas de 10 x 10 m, equivalente 100 m². En la identificación se utilizaron los diferentes tomos de la flora de Cuba. El estrato herbáceo se consideró de 0,1 a 1 metro, el arbustivo de 1,1 a 5 metro y el arbóreo de >5 metros de altura según lo planteado por Álvarez y Varona (2006). Además, la estrategia reproductiva, considerando las plantas que se propagan por semillas, por rebrotes y ambas.

3.9 Determinación de los efectos de las quemas prescritas sobre el estrato arbóreo

Los efectos del fuego en la vegetación se evaluaron una semana antes, una semana, dos y tres meses después de la quema a través de la metodología modificada por Hernández *et al.* (2000) que establece la determinación del pronóstico de árboles vivos atendiendo a los diferentes grados de afectaciones causados por el incendio forestal en el bosque que consiste en: una vez marcadas las parcelas se señala cada árbol y se determina el grado de afectación causado por el fuego según se indica a continuación:

- **Afectación ligera:** el fuego toca superficialmente el fuste desde la base hasta la mitad de la copa, sin penetrar en los tejidos vivos.
- **Afectación grave:** cuando el fuego carboniza parte del fuste y más del 50 % de la copa es afectada, sin llegar a la yema terminal.
- **Afectación completa:** el fuego carboniza totalmente al árbol.

Se midieron sus diámetros y las alturas.

3.10 Determinación de los parámetros ecológicos

Con el listado florístico se determinaron varios parámetros ecológicos, la riqueza específica, modelo de abundancia a través del índice de Simpson y la diversidad biológica una semana antes, dos y tres meses después de quemar, a través de las siguientes fórmulas:

Índice de Simpson

$$\lambda = \{pi^2$$

donde:

pi = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i , dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Lande (1996) citado por Moreno (2001) manifiesta que como la dominancia es inversa a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - \lambda$, por lo que se utilizó éste método para su determinación.

3.11 Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la regeneración natural de *P. cubensis*

Teniendo en cuenta que Matos (1963) y Samek (1967) citados por Betancourt (1987) plantean que la regeneración de *P. cubensis* depende también de la disposición de árboles productores de semillas que exista en el área, se realizó un inventario de la producción de semillas de la siguiente manera: a todos los individuos de las parcelas de 100 m² donde se aplicó quema en avance y las quemadas en retrocesose les contó la cantidad de conos por cada una de las ramas determinando así la cantidad total por individuos y por hectárea. Para la cantidad de semillas se tomaron 65 conos y se determinó por cada uno cuántas semillas tenían, determinando la media por cono para el área quemada, por hectárea y para el área total de estudio, además se determinó el mínimo, el máximo, la moda y el error estándar con el SPSS 21.0.

El estudio de la regeneración natural de *P. cubensis* se realizó en las 6 parcelas de 10 x 10 m, donde se determinó la cantidad de individuos de la especie en cada una de las parcelas siete días antes de aplicadas las quemas, 45, 90, 150, 450 y 540 días después de aplicadas las quemas prescritas; se clasificó la densidad de árboles por hectárea y la distancia entre arbolitos de acuerdo con la clasificación de Moreno (2004). Además, se observó la altura en centímetros de las plántulas con una cinta métrica, el color del follaje y daños y el vigor. Se muestreo igualmente en la parcela testigo. Se realizó para la cantidad de individuos en la regeneración natural de *Pinus cubensis* un análisis de regresión lineal ajustado a una ecuación cúbica y se determinó el coeficiente de determinación.

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Carga de material combustible

La cantidad de material combustible influye en la propagación del fuego y determina la cantidad de calor que será liberada en las quemas prescritas. Se determinó el tamaño de la muestra siendo esta de 12 parcelas de 1m².

En la determinación del material combustible las misceláneas fueron las de mayor representatividad en el área de estudio, lo cual está relacionado con la acumulación de acículas procedente de la especie dominante (*Pinus cubensis*), que forman un colchón en el piso del bosque, esto debido a que los restos de acículas contienen una gran cantidad de lignina y compuestos de metabolismo secundario, como la resina que son de muy lenta descomposición.

La Figura 2 muestra el porcentaje por tipo de material combustible antes del fuego, en las parcelas donde se aplicó la técnica de quema prescrita en avance, con una cobertura del 100%.

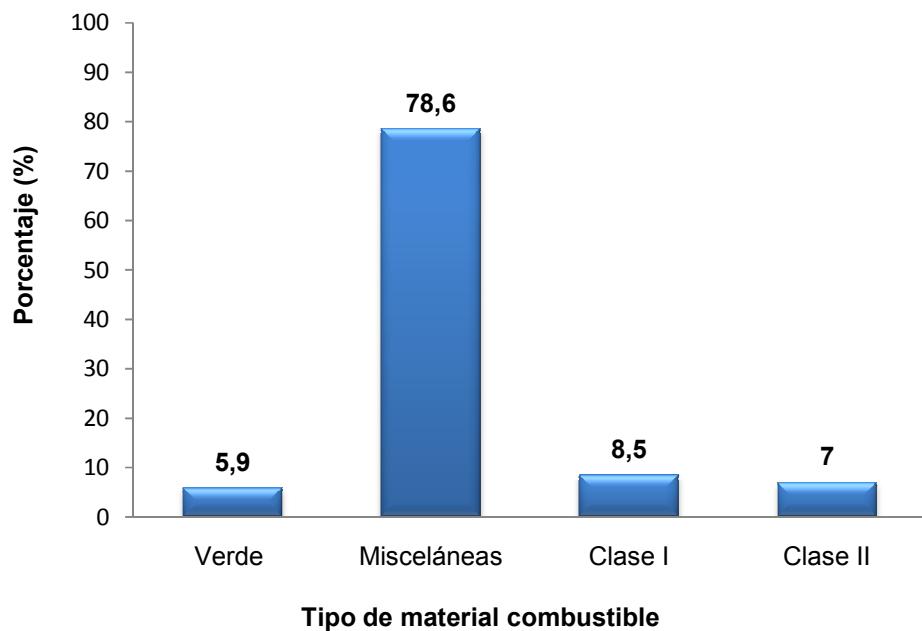


Figura 2. Porcentaje de material combustible por tipo antes del fuego en avance

La acumulación del material combustible en los *Pinus caribaea* y *Pinus cubensis*, se comporta de manera similar, con la mayor cantidad en las misceláneas, esto coincide con investigaciones realizadas por algunos autores tales como Martínez (2006), Pérez *et al.* (2009), (2010), (2012), Urrutia *et al.* (2009), (2012), Durán *et al.* (2014a), (2014b) y Durán (2015), quienes al evaluar al material combustible para aplicar quemas prescritas experimentales, concluyeron que la mayor cantidad de combustible corresponde a las misceláneas.

Por otro lado, Batista (1995) y Grodzki (2000), cuando calcularon la cantidad de material combustible para efectuar quemas prescritas experimentales en *Pinus pinaster*, con el objetivo de reducir la carga de combustibles para evitar la ocurrencia y propagación de incendios forestales, informaron que la mayor cantidad de material combustible corresponde a las misceláneas.

Las altas cantidades de misceláneas influyen en la rapidez de la quema, ya que es un material muy fino y tiene la propiedad de ganar o perder humedad en poco tiempo de acuerdo a las condiciones meteorológicas (Betancourt, 1990).

De forma general, el material combustible en bosques de pinos se pueden encontrar los mayores valores en las misceláneas entre un 60 a 80%, Smith *et al.* (2012). Esto además coincide con los resultados obtenidos por Martínez (2006), al aplicar quemas prescritas en avance y en retroceso donde describe que la clase de material combustible más abundante en el piso del bosque de *Pinus tropicalis*, corresponde a las misceláneas con un 69,86%, esto se debe a la gran acumulación de las acículas y otras hojas de varias especies forestales que demoran tiempo en descomponerse formando una capa gruesa, que facilita la propagación del fuego.

Para el método de quema en retroceso se determinó el tamaño de la muestra, que resultó de 14 parcelas de 1m², con un error relativo de 11,8%.

La Figura 3 muestra el porcentaje por tipo de material combustible, antes del fuego en las parcelas donde se aplicó la técnica de quema prescrita en retroceso, con una cobertura del 100%.

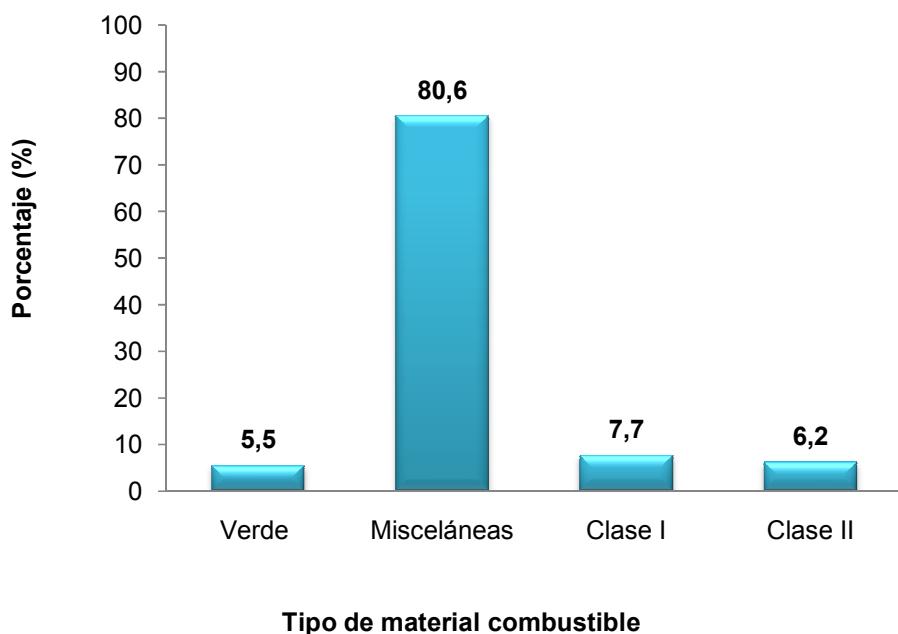


Figura 3. Porcentaje de material combustible por tipo antes del fuego en retroceso

Debe existir un mínimo de $1,235 \text{ t.ha}^{-1}$ de material fino, seco y disperso en un área para que un incendio superficial se pueda propagar por el piso del bosque e incluso en ocasiones, cuando es muy intenso y las llamas sobrepasan los 2 metros puede convertirse en un incendio de copa (Wright *et al.* (1979), citados por Anderson *et al.* 2007).

Por su parte, Kauffman y Martín (1989), analizando el material combustible en bosques de coníferas, en tres áreas de California, verificaron que los materiales combustibles de la clase I representaban menos del 1% del peso total de los combustibles en todas las localidades, la clase II y la III contribuían con menos del 4% y las camadas de acículas aportaban entre el 62 y el 84% del peso total. En determinaciones al material combustible disponible realizados en *P. radiata* corresponde aproximadamente el 70 – 85% de la cantidad total de combustible con diámetro inferior a 2,5cm (Soares, 1985).

Sackett (1980), al aplicar quemas prescritas en retroceso encontró resultados semejantes, analizó las clases de material combustible en plantaciones de *Pinus ponderosa*: 76% para acículas, 11% para la clase I; 8,2% para la clase 2 y 5,07% para la clase 3.

La Figura 4 muestra el material combustible en el área de estudio antes de aplicar las quemas prescritas en retroceso, donde las misceláneas tienen la mayor proporción.

En estudios realizados en *Pinus cubensis*, informaron acumulaciones de miscelánea entre 70 y 83% al aplicar quemas prescritas en retroceso (Pérez *et al.* 2009, 2010, 2012, y Durán *et al.* 2014a, 2014b).

Es un hecho que, ante acumulaciones de materiales combustibles en el piso del bosque, es un riesgo evidente de incendios forestales, sobre todo si las mayores proporciones son de misceláneas, cuando estos alcanzan niveles de continuidad y cantidad, es prudente pensar en realizar acciones preventivas contra los incendios y en particular si estas están enfocadas a la aplicación de quemas prescritas con el objetivo de reducir el material combustible (Sánchez y Zerecero, 1983).



Figura 4. Material combustible antes de las quemas prescritas

En relación con las reducciones de material combustible, al aplicar fuego en avance el material verde se redujo un 100%, las misceláneas en un 66,6% de, clase I en el 78,04% y clase II en el 82,83%, (Figura 5).

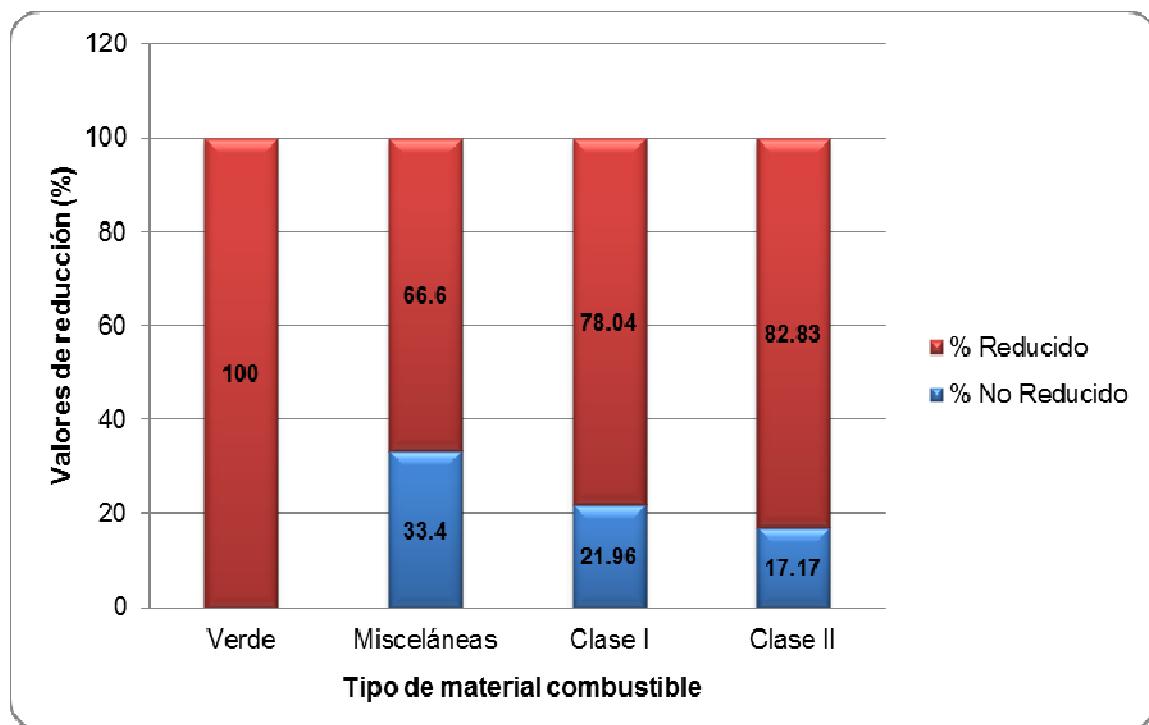


Figura 5. Porcentaje de reducción de los materiales combustibles después del fuego en avance.

Se requiere conocer la cantidad de combustibles existentes en el piso del bosque antes y después de efectuar la quema, para determinar el % de reducción en cada una de las clases de material combustible en el diagnóstico realizado, inmediatamente después de las quemas en retroceso, la mayor reducción se obtuvo en la clase de material combustible verde, producto de la deshidratación de las hojas causadas por los gases calientes y las altas temperaturas, seguido de las misceláneas, por ser el material más fino, que puede ser consumido fácilmente por el fuego (Figura 6), en un 51,9% la clase I y un 65,4% la clase II.

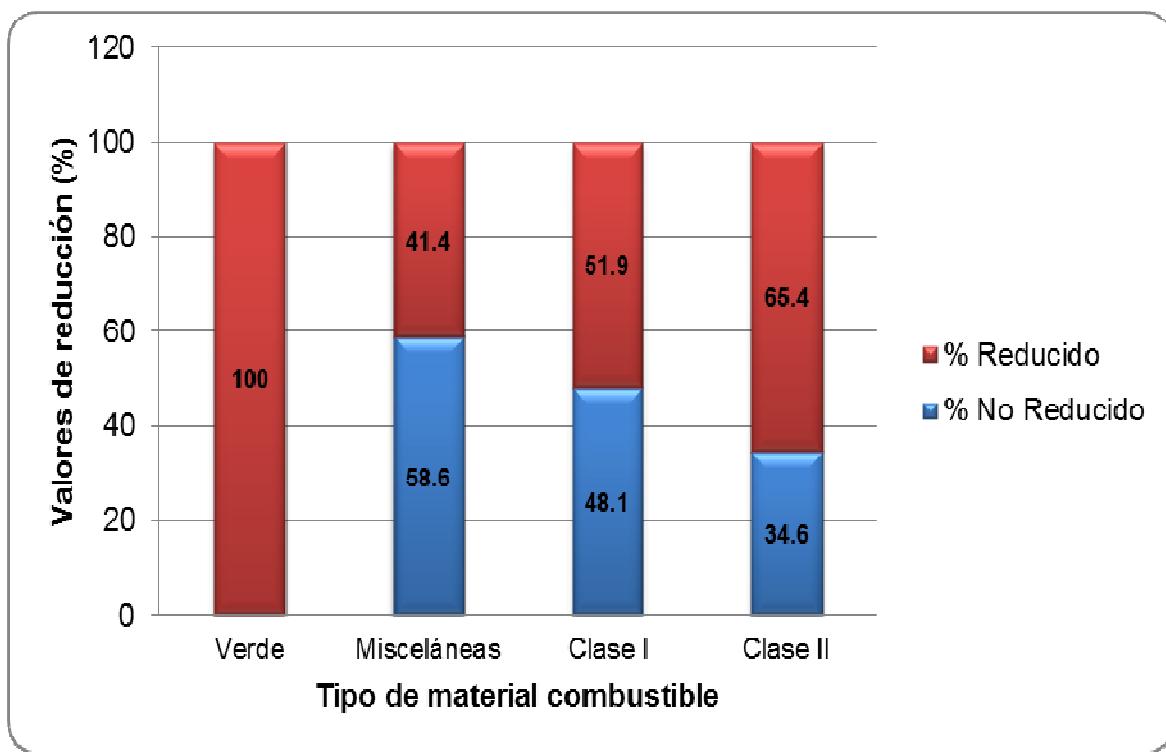


Figura 6. Porcentaje de reducción de los materiales combustibles después del fuego en retroceso.

Ramos (2010), informó que un bosque de pino con una acumulación de material combustible entre $200 - 1\,500\text{t.ha}^{-1}$ puede experimentar una reducción de un 5 a un 25%, dependiendo de la intensidad del fuego.

Al aplicar quema en avance, disminuyeron las clases del material combustible, garantizando que disminuyan los riesgos de ocurrencia y propagación de incendios.

La Tabla 1 muestra el análisis de varianza por clase de combustible, antes y después de las quemas.

Tabla 1. Cantidad de material combustible promedio por parcela antes y después de las quemas en avance en g.m⁻²

| Tiempo | Verde | Misceláneas | Clase I | Clase II | Total |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | (g.m ⁻²) | (g.m ⁻²) | (g.m ⁻²) | (g.m ⁻²) | |
| Antes de las quemas | 153,8 ^a | 2 277,1 ^a | 218,7 ^a | 173,8 ^a | 2 823,5 ^a |
| Después de las quemas | 0 | 1 274,0 ^b | 170,7 ^b | 144,0 ^b | 1 588,6 ^b |
| E.E | 2,04* | 1,32* | 1,06* | 0,60* | 1,18* |

Medias seguidas por diferentes letras en columna difieren entre sí por la prueba de "t" para $p \leq 0,05$ y E.E= error estándar calculado.

La cantidad promedio total antes de las quemas prescritas en avance fue de 28,24 t.ha⁻¹, el porcentaje de cobertura del material combustible en el suelo disminuyó hasta el 56,3% como promedio. Moreno *et al.*(2012), obtuvieron una reducción del material combustible de un 58% con la aplicación de quemas prescritas en retroceso en bosque de *P. cubensis*.

En la evaluación del material combustible al aplicar quema prescrita en avance a plantaciones de *Pinus ponderosa* Sakett, (1980), reportó una reducción de un 43 a 65%, mientras Goldammer (1982), obtuvo una reducción del 48% del material combustible depositado en el piso de una plantación de *Pinus elliottii* en Paraná, utilizando quema controlada de baja intensidad. Estos resultados se encuentran en los rangos de los obtenidos en esta investigación.

Batista (1995), logró reducir el material combustible en plantaciones de *Pinus taeda*, entre el 17 y el 53%, utilizando quemas controladas a favor y en contra del viento respectivamente. Mientras que la reducción del material combustible en pinares se comporta en un rango de un 40 a un 70% dependiendo de la intensidad de la quema y las condiciones meteorológicas.

En las tres parcelas donde se aplicó fuego en retroceso, la cantidad promedio total antes de las quemas prescritas fue de 27, 94t.ha⁻¹, el porcentaje de cobertura del material combustible en el suelo disminuyó hasta el 41, 6% como promedio. En la Tabla 2 se muestra el análisis de varianza por tipo de combustibles, antes y después de las quemas,

donde se observa que el fuego disminuyó significativamente los tipos de combustibles. Se puede observar el material combustible después de las quemas (Figura 7).

Tabla 2. Cantidad de material combustible promedio por parcela antes y después de las quemas en retroceso en g.m^{-2}

| Tiempo | Verde | Misceláneas | Clase I | Clase II | Total |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (g.m^{-2}) | (g.m^{-2}) | (g.m^{-2}) | (g.m^{-2}) | |
| Antes de las quemas | 164,82 ^a | 2197,11 ^a | 236,95 ^a | 194,67 ^a | 2793,55 ^a |
| Después de las quemas | 0 | 910,7 ^b | 123 ^b | 127,3 ^b | 1 161,07 ^b |
| E.E | 2,19* | 1,28* | 1,15* | 0,67* | 1,17* |

Medias seguidas por diferentes letras en columna difieren entre sí por la prueba de "t" para $p \leq 0,05$ y E.E= error estándar calculado.

Reducciones del 86,2% del peso seco del material combustible en áreas naturales de *Pinus tropicalis* Morelet, fueron obtenidos por (Martínez, 2006), este elevado porcentaje de reducción, podría estar asociado al alto contenido de combustibles correspondiente a las misceláneas, al bajo porcentaje de humedad y a altas temperaturas. Esta especie experimenta los mayores valores de reducción de los pinos cubanos luego de aplicar las quemas prescritas.

Por su parte, Urrutia *et al.* (2012), al aplicar quemas prescritas en bosques mezclados de *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea*, que la mayor cantidad de material correspondía a las misceláneas. En este caso, la reducción tuvo igual comportamiento que un rodal monoespecífico. La cantidad promedio total antes de las quemas prescritas fue de 2 182,81 g.m^{-2} , logrando una reducción del 88% al aplicarlas.

Otro de los elementos a tener en consideración es el mantillo, el cual actúa como un aislante térmico entre el fuego y el suelo, evitando en la mayoría de los casos, que el fuego incida directamente en el suelo mineral.



Figura 7. Material combustible un día después de las quemas

Cuando se producen las precipitaciones luego de aplicar quemas prescritas de intensidad media, el mantillo al estar compuesto por una gran capa de acículas, hojas, ramillas, y otros materiales en descomposición, retiene el agua y regula la cantidad que se infiltra a las capas más profundas del suelo en dependencia de la litología al manto freático.

En la Tabla 3, se pueden observar las variaciones de la profundidad total del mantillo (cm) antes y después del fuego en cada una de las técnicas de quemas prescritas aplicadas.

Tabla 3. Profundidad total del mantillo (cm) antes y después delas quemas

| Fuego en avance | | | Fuego en retroceso | | |
|------------------|-------|---------|--------------------|-------|---------|
| | antes | después | | antes | después |
| Parcela 1 | 8,7 | 3,4 | Parcela 4 | 9,4 | 2,7 |
| Parcela 2 | 12,6 | 2,4 | Parcela 5 | 12,9 | 1,8 |
| Parcela 3 | 13,2 | 2,9 | Parcela 6 | 14,9 | 2,1 |

El porcentaje de reducción de la profundidad del mantillo después del fuego donde se aplicó quema prescrita en avance, se redujo un 72,7% como promedio, esto indica que el fuego no incidió directamente en el suelo mineral en la mayor parte del área. Por lo tanto, esta reducción del mantillo influye en que no se afecte el suelo mineral (Pérez, 2012).

De igual manera, en un bosque natural mezclado de *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaeae*, al aplicar quemas prescritas en avance, la espesura del mantillo experimentó una reducción de 7,2 hasta 4,23cm de profundidad, como promedio después de las quemas (Urrutia, 2010).

Por otra parte, el porcentaje de reducción de la profundidad del mantillo después de aplicado el fuego con el empleo de la quema prescrita en retroceso, experimentó una reducción promedio de 81,06%.

Tanto en la quema en avance como en retroceso, las reducciones de la profundidad media del mantillo se comportan de manera similar, con solo un ligero aumento en la técnica de retroceso, debido a que el fuego se traslada más lento y tiende a profundizar la ignición un poco más que en avance.

Batista (1995), al evaluar el mantillo informó un 30% de reducción del mantillo en plantaciones de *Pinus taeda* L., Vega *et al.* (2000), una reducción de las hojarascas de más del doble en pinares de Galicia, Grozdki (2000), reducciones de hasta un 92,7% en áreas naturales de *Mimosa scabrella* Benth(bracatinga). España, en la primera aplicación

del fuego prescrito. Martínez (2006), en quemas prescritas experimentales logró un promedio de reducción del 66% en *Pinus tropicalis*.

Pérez *et al.* (2012), y Durán *et al.* (2014a), con la reducción obtenida en estas investigaciones se logró una mayor exposición del suelo mineral, de la especie *P. cubensis*. La reducción del mantillo puede oscilar en grandes rangos desde 30 a 95%, dependiendo de la intensidad de la quema y del sitio.

4.2. Parámetros del comportamiento del fuego

Para la aplicación de las quemas prescritas se contó con el apoyo de la Brigada Profesional de Prevención Contra Incendios Forestales del circuito número 13 del Cuerpo de Guardabosques Provincial de Guantánamo, los cuales permanecieron en el área de investigación durante y después de las quemas para garantizar el cumplimiento de los objetivos planificados, dando inicio el día 13 de noviembre del 2016 a las 13:00 horas y finalizando a las 17:30 horas.

Las quemas se mantuvieron en los rangos informados por Nájera (2000) y *The Nature Conservancy* (2005), las del día de las quemas prescritas igualmente se mantuvieron en los rangos establecidos (Tabla 4).

Tabla 4. Relación de las condiciones meteorológicas establecidas y las del día de las quemas

| Condiciones meteorológicas | Establecidos | Día de la quema |
|----------------------------------|--------------|-----------------|
| Vv (km.hora⁻¹) | 6 – 12 | 7,4 |
| Dv | NE | NE |
| Hr (%) | 50–70 | 59 |
| Hc (%) | 15 - 25 | 15-25 |
| T (°C) | < 30 | 27 |
| DsII | 2 – 5 | 4 |

Leyenda: **Vv:** Velocidad del viento; **Dv:** Dirección del viento; **Hr:** Humedad relativa; **Hc:** Humedad de los combustibles; **T:** Temperatura; **DsII:** Días sin lluvia.

Las condiciones climáticas son factores muy importantes para realizar quemas prescritas y estos definen el éxito de la aplicación (Urrutia 2012, Pérez 2012 y Durán *et al.* 2014_a, 2014_b).

Para poder planificar y ejecutar las quemas es necesario un entendimiento general del efecto separado y combinado de los elementos del clima con el comportamiento del fuego (Wade y Lunsford 1989).

Otros investigadores tales como Brown y Davis (1973), aplicaron quemas prescritas en un bosque natural de *P. oocarpa* con un intervalo de uno a cuatro días sin lluvias y vientos de dirección norte entre 4,8 y 16 km.h⁻¹, esto permitió el cumplimiento de los objetivos planificados.

En la Tabla 5, se muestra que la altura media de fuste limpio, que es una de las características relativas del rodal a quemar es la altura de fuste limpio con 15,35 metros como promedio, favoreciendo la aplicación de las quemas prescritas, siendo un elemento que no debe pasar por alto a la hora de su planificación, si no son suficientes, las llamas podrían trasladarse a la parte superior de los árboles y convertirse en un incendio de copa, imposibilitando dar cumplimiento a los objetivos planificados.

Tabla 5. Altura del fuste limpio de la especie *Pinus cubensis* en el área propuesta a quemar (m)

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|--------|-----|--------|--------|-------|------------|----------|
| Altura | 109 | 11 | 24 | 15,35 | 3,18 | 10,089 |

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la altura de fuste limpio, ya que la quema prescrita bajo el arbolado en masas de coníferas puede ser uno de los métodos de eliminar el combustible para evitar, en primer lugar, la ignición de fuegos por el suelo y en segundo lugar, que estos puedan convertirse en fuegos de copa (Jurado 2006, Vélez 2000 y Heikkilä *et al.* 2010).

La Figura 8 muestra la altura de fuste limpio en el área de investigación.

Martínez (2006), destaca la importancia de la altura del fuste limpio que presentan los árboles, ya que es un importante aspecto a tener en cuenta a la hora de aplicar fuego prescrito, para no afectar la parte aérea de la planta, que no influya en su crecimiento y poder sobrevivir a los fuegos superficiales de baja intensidad.



Figura 8. Altura de fuste limpio de *P. cubensis*

Por su parte Pérez (2012), al aplicar quemas prescritas en *P. cubensis* afirma que, con una altura media de fuste limpio de 13 m, el fuego no pasa a un incendio de copa.

4.2.1. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en avance

El comportamiento del fuego se determinó a partir de variables como el viento y la disponibilidad de material combustible en las áreas experimentales donde se efectuaron las quemas prescritas en avance.

En las parcelas 1, 2 y 3 donde había más miscelánea, el fuego se propagó rápidamente con ráfagas de viento en algunos momentos durante la quema en avance influyó en la

longitud de las llamas alcanzando valores de 1,38m de altura. Estudios realizados por Flores y Benavides (1994), citados por Urrutia, (2010), alcanzaron valores de altura de la llama de 0,5m para quemas en retroceso y hasta 5m para quemas en avance, para bosques de pinos en Jalisco, sin embargo, en ninguno de los casos el fuego pasó a la copa de los árboles.

Los valores correspondientes al comportamiento del fuego se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros del comportamiento del fuego en avance

| Parcelas | I(Kcal/m/s ⁻¹) | r (m/s ⁻¹) | Ha(kcal.m ⁻²) | L (m) |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------|
| Parcela 1 | 147,24 | 0,018 | 15900 | 1,33 |
| Parcela 2 | 159,64 | 0,011 | 16800 | 1,29 |
| Parcela 3 | 128,24 | 0,040 | 14800 | 1,53 |
| Media | 145,04 | 0,023 | 15833,3 | 1,38 |

Leyenda: I = intensidad lineal del fuego, r= velocidad de propagación, Ha = calor liberado por unidad de área y L = longitud de las llamas.

Con el análisis de los resultados obtenidos de la quema en avance, se pudo determinar que los valores de intensidad del fuego están en los límites comprendidos, entre 128,24 y 159, 64 Kcal/m/s⁻¹ con 145,04 Kcal/m/s⁻¹ como promedio, coincidiendo con (Rodríguez *et al.* 2010), quienes afirman que la intensidad es media cuando está entre 101 y 500 kcal m⁻¹s⁻¹.

Por otra parte, Batista (1995), citado por Martínez (2006), al aplicar quemas en avance a plantaciones de *Pinus taeda*, plantea que la velocidad de propagación representa una mayor velocidad debido a la influencia del viento, este método propicia que el fuego demore menos tiempo, ocasionando menos efectos nocivos al suelo.

Vélez (2000), logró una quema en avance efectiva en plantaciones de *Pinus selliottii*, al reportar velocidades de propagación entre 0,0762 y 1,09 m.s⁻¹.

Wade (1986), citado por De Ronde *et al.* (1990), describe niveles de intensidades asociados con el comportamiento del fuego para auxiliar los planes de quemas prescritas

en poblaciones de *Pinus elliottii* en el sur de los EUA. Según este autor, existen dos niveles: el límite de óptima variación que estaría entre 17 y 60kcal.m⁻¹.s⁻¹ y el máximo de intensidad de quema que no debe superar las 165kcal.m⁻¹.s⁻¹, por lo tanto, los valores de esta investigación se encuentran en estos rangos.

La Figura 9 muestra el momento de la aplicación de las quemas prescritas en avance.

El fuego se desplaza a favor del viento, este comportamiento coincide con lo planteado por Flores *et al.* (2009_a), al señalar que en las quemas en avance el fuego se mueve cuesta arriba o a favor del viento, viaja muy rápidamente y es específicamente caliente.



Figura 9. Momento de aplicación de las quemas prescritas en avance

4.2.2. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en retroceso

La Tabla 7 muestra los parámetros del comportamiento del fuego en retroceso donde los valores de intensidad obtenidos en las parcelas 4, 5 y 6 esde 139,44, 148,64 y 128,24

Kcal.m.s⁻¹ respectivamente con 138,77Kcal.m.s⁻¹ como promedio. Resultado inferior al valor de intensidad obtenido en las quemas en avance.

Sin embargo, el por ciento de material combustible disponible en las 6 parcelas fue semejante, y la velocidad del viento contribuyó en gran medida a que en las parcelas 4, 5 y 6 los valores de intensidad del fuego fueran menores, oscilando la velocidad de propagación entre 0,0078 a 0,0097m.s⁻¹ con 0,0088 m.s⁻¹como promedio, alcanzando alturas de llamas de 1,10m.

El calor liberado por unidad de área como promedio de las parcelas 4,5 y 6 fue relativamente bajo con respecto a las parcelas 1, 2 y 3 donde se aplicó quema en avance. De acuerdo a lo planteado por Batista (1995), el calor liberado influye directamente en la cantidad de material combustible disponible y la intensidad del fuego.

Tabla 7. Parámetros del comportamiento del fuego en retroceso

| Parcelas | I(Kcal.m.s ⁻¹) | r (m.s ⁻¹) | Ha(kcal.m ⁻¹) | L (m) |
|--------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| Parcela 4 | 139,44 | 0,0078 | 13800 | 1,07 |
| Parcela 5 | 148,64 | 0,0097 | 15600 | 1,09 |
| Parcela 6 | 128,24 | 0,0088 | 14000 | 1,13 |
| Media | 138,77 | 0,0088 | 14467 | 1,10 |

Leyenda: I = intensidad lineal del fuego, r= velocidad de propagación, Ha = calor liberado por unidad de área y L = longitud de las llamas.

Urrutia *et al.* (2010), obtuvieron resultados similares en la aplicación de quemas prescritas en retroceso en *Pinus caribaea*, con una velocidad de propagación de 0,007m.s⁻¹ y alturas de llamas de 0,60m. Según Flores *et al.* (2007), en estudios realizados en la reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán determinaron valores de velocidades de propagación del fuego de 0,30 m/min con alturas de llamas que oscilaron desde 0,25m a 3,5m.

Los incendios pequeños difícilmente exceden niveles de intensidad de $2\ 000\text{kW.m}^{-1}$, mientras que en los incendios de gran magnitud pueden traspasar valores de $60\ 000\text{kW.m}^{-1}$ (Brown y Davis 1973).

Martínez (2006), realizó experimentos con quemas prescritas en condiciones similares y obtuvo variación en la intensidad del fuego desde $128,4\ \text{kW.m}^{-1}$, hasta $1340,4\ \text{kW.m}^{-1}$ en correspondencia a la disponibilidad del material combustible y las condiciones ambientales de estas áreas de quema.

Kauffman y Martín (1989), citados por Martínez (2006), obtuvieron valores de intensidades muy variables, desde $3,32\ \text{kcal.m}^{-1.s}^{-1}$, hasta $36,33\ \text{kcal.m}^{-1.s}^{-1}$, en bosques mixtos de coníferas.

Burrowset *et al.* (1989), citados por Pérez (2012), informa que en quemas prescritas experimentales en plantaciones de *Pinus radiata* en Australia, se obtuvieron intensidades de fuego entre $4,78$ y $144\ \text{kcal.m}^{-1.s}^{-1}$; mientras que Batista (1995), logró intensidades de fuego para plantaciones de *Pinus taeda* entre $2,88$ y $25,22\ \text{kcal.m}^{-1.s}^{-1}$, por lo que la variabilidad de la intensidad dependerá en gran medida de las condiciones de cada sitio y especie donde se aplique la quema.

La Figura 10 muestra el momento de la aplicación de las quemas prescritas en retroceso, apreciándose que el fuego se desplaza en contra de la pendiente, este comportamiento coincide con lo planteado por Flores *et al.* (2009a), al señalar que un fuego en retroceso se mueve en contra del viento o cuesta bajo en una pendiente, sus temperaturas son relativamente bajas y el fuego viaja muy lentamente.

El comportamiento del fuego tanto en avance como en retroceso fue similar, razón por la cual para seleccionar el método a aplicar se deben tener en cuenta las condiciones de cada sitio.



Figura 10. Momento de aplicación de las quemas prescritas en retroceso.

4.3. Comportamiento de las propiedades químicas del suelo

Con relación al pH, donde se aplicó quema en retroceso a los quince días se observó un aumento de 0-10cm de profundidad alcanzando su máximo valor a los 135 días, experimentando una ligera disminución hasta los 12 meses y de 10-20cm tuvo un ligero descenso a los 105 días, seguido de un aumento entre los 120 y los 135 días, disminuyendo ligeramente entre los 6 y 12 meses, pero en ambas profundidades no llegó a los valores iniciales (Figura 11).

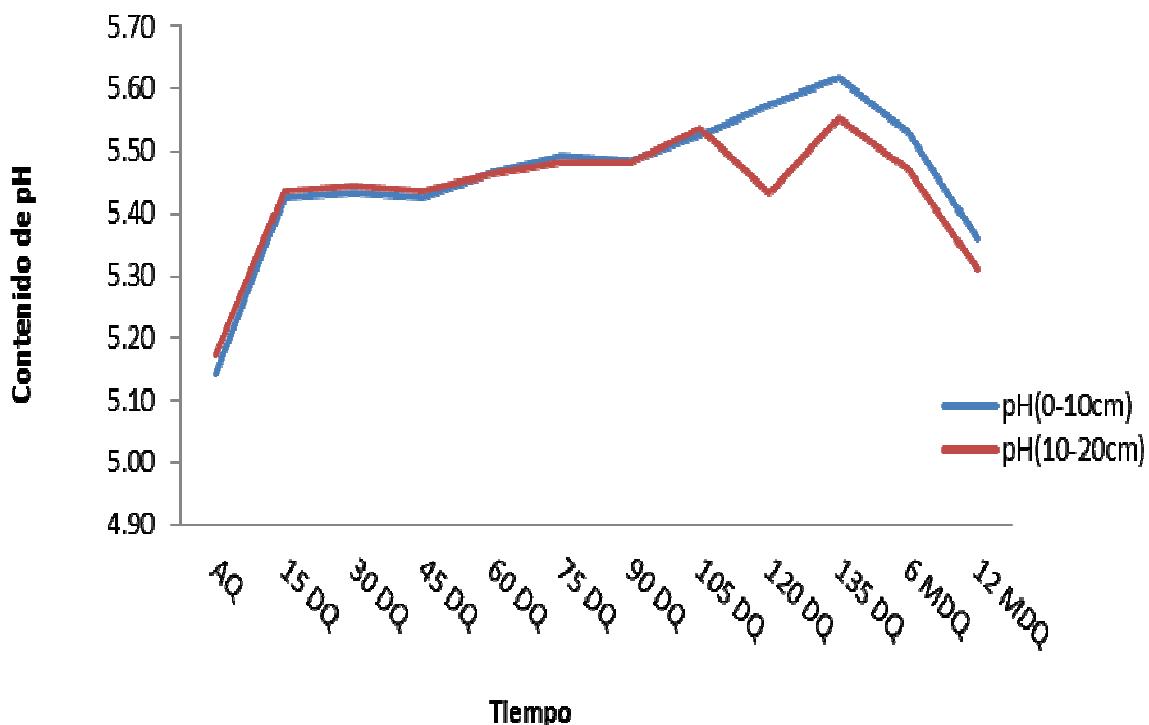


Figura 11. Variación del pH de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en retroceso

Leyenda: (AQ) antes de la quema, (DQ) después de la quema y (MDQ) meses después de la quema.

Donde se aplicó quema en avance, el pH aumentó a los 15 días posteriores a la quema, con un aumento gradual hasta los 135 días con sus máximos valores, de 0-10cm, valores más altos que de 10-20cm de profundidad y una ligera disminución en ambas profundidades entre los 6 y 12 meses después del fuego (Figura 13).

Según Vega *et al.* (2000) y Martín (2010), el pH suele aumentar en suelos quemados por fuego prescrito 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.

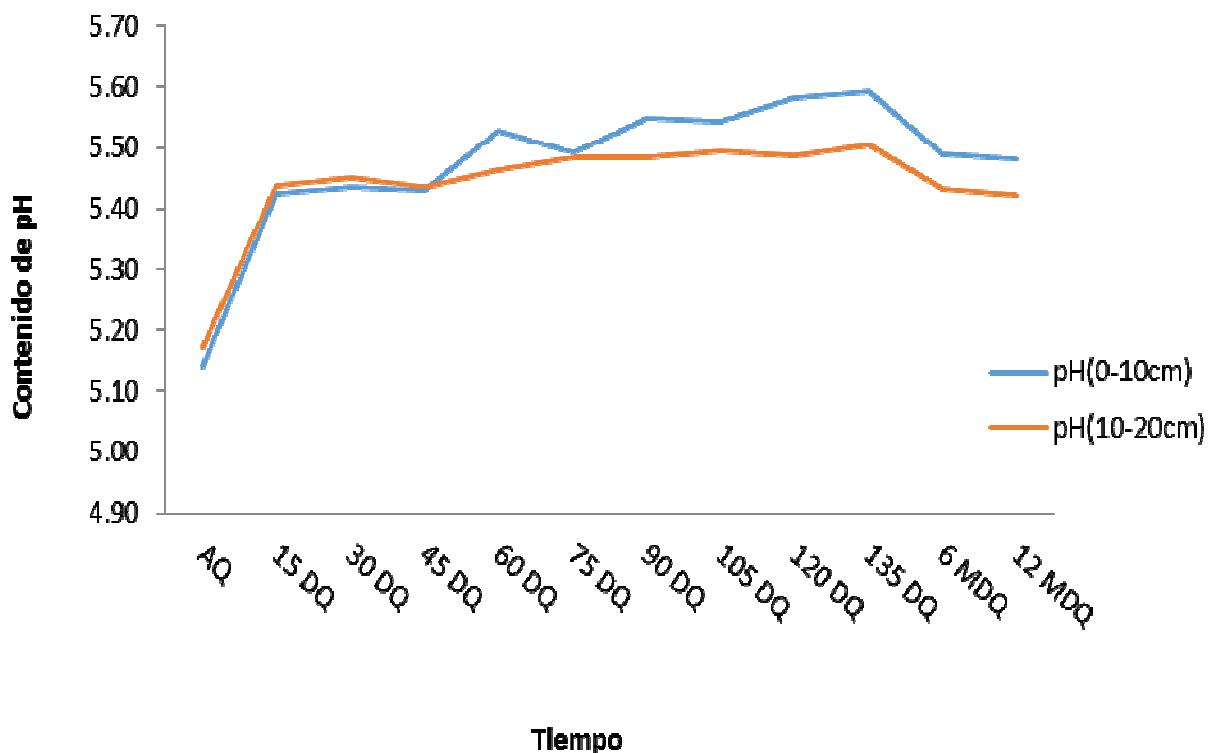


Figura 12. Variación del pH de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en avance.

Leyenda: (AQ) antes de la quema, (DQ) después de la quema y (MDQ) meses después de la quema.

El pH presentó una variación de 5,14 a 5,62, en el caso de la *Amanita muscaria*, se observó que se desarrolla entre 4,9 y 5,62, esto indica que tiene una gran plasticidad según lo planteado por Pérez *et al.* (2010), quienes describen este género en un intervalo de pH entre 4,2 y 6,4; Daza *et al.* (2007), observaron el desarrollo del género *Amanita* en suelos ácidos (pH 6.2).

Se establece a pH de 4,5 a 7,5 (Guerin *et al.* 2003), este resultado indica que este género se puede desarrollar en un rango amplio de pH, por lo que podría persistir en sitios afectados por el fuego donde luego de este fenómeno ocurren variaciones de pH.

Pérez (2012) y Durán (2015), al aplicar quemas prescritas en *P. cubensis* observaron un ligero incremento en el pH de 5,19 a 5,51 y de 5,14 a 5,62 respectivamente, por su parte, Soares (1985) encontró incrementos significativos después de las quemas.

Vega *et al.* (2000) en *Pinus pinaster*, Martínez (2006) en *P. tropicalis* y Flores y Benavides (2009c) en bosques templados, encontraron una disminución de la acidez del suelo después de aplicar quemas prescritas. Al respecto Soares (1990) y Batista (1995), obtuvieron incrementos no significativos para los valores de pH en profundidades de hasta 10cm, en plantaciones de *P. taeday* en *P. caribaea*.

Flores *et al.* (2010_b) al evaluar los efectos de un incendio en bosque de la primavera, México, donde predominan *Pinus devoniana* Lindl., *P. oocarpa*, observaron un ligero aumento no significativo después del incendio.

Pérez *et al.* (2009) al realizar un diagnóstico de bosques de *P. cubensis* en Baracoa, para la aplicación de quemas prescritas, registraron que el pH del suelo a la profundidad de 0 a 10cm fue de 5,13 y de 10 a 20cm de 5,17.

Por otra parte, Benítez (2003) y Martínez *et al.* (2003) encontraron incrementos significativos para los valores de pH del suelo a los tres años de ocurrido un incendio en bosques naturales de *P. caribaea* y *P. tropicalis*, en Minas de Matahambre y Macurijes, Pinar del Río, respectivamente. En un incendio forestal, donde las intensidades son muy variables, tiende a aumentar el pH en un período de tiempo prolongado.

Las quemas de baja intensidad no detectan variaciones de pH, o, si se detectan estas, son muy pequeñas (Martínez 2006), además esto está relacionado con el tipo de suelo, y la vegetación, entre otros.

Como se observa en la Figura 13 donde se aplicó quema prescrita en retroceso, el porcentaje de materia orgánica de 0 a 10cm de profundidad mostró un aumento a los quince días después de las quemas prescritas y una disminución entre los 6 a 12 meses después, pero sin llegar a los valores iniciales. De 10 a 20cm hubo un ligero aumento hasta los 15 días posteriores a las quemas.

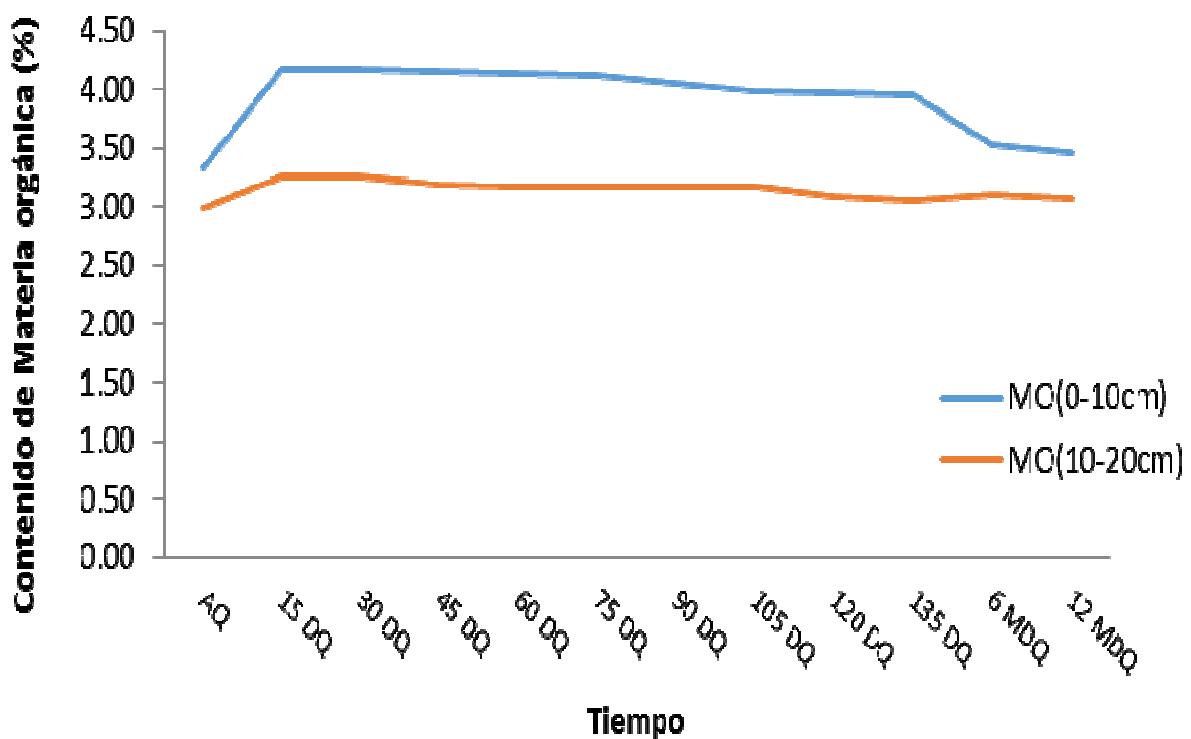


Figura13. Variación de la materia orgánica de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en retroceso.

Leyenda: (AQ) *antes de la quema*, (DQ) *después de la quema* y (MDQ) *meses después de la quema*.

En las parcelas donde se aplicó quema prescrita en avance, el porcentaje de materia orgánica de 0 a 10cm de profundidad, mostró un aumento a los quince días después de las quemas prescritas, desde 3,32 a 4,47% y una disminución a los 12 meses después, pero sin llegar a los valores iniciales. De 10 a 20cm hubo un ligero aumento hasta los 15 días posteriores a las quemas, de 2,98 a 3,3%, disminuyendo hasta los 12 meses, a valores muy cercanos a los iniciales (Figura 14).

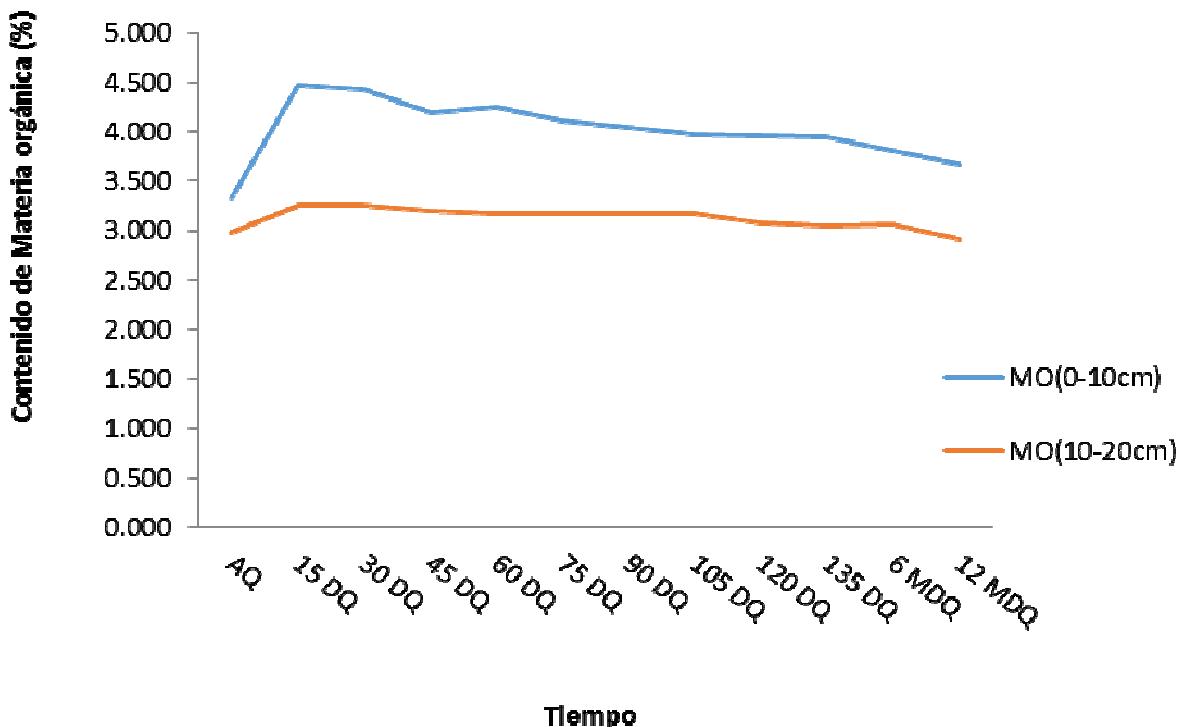


Figura14. Variación del MO de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en avance.

Leyenda: (AQ) antes de la quema, (DQ) después de la quema y (MDQ) meses después de la quema.

Este ligero incremento en los valores de materia orgánica de 0 a 10cm de profundidad, luego de la aplicación de las quemadas puede estar atribuido a la descomposición e incorporación más rápida de los fragmentos orgánicos sobre las superficies quemadas.

Inmediatamente después de realizar la quema, el porcentaje de materia orgánica no disminuye, pero al transcurrir 12 meses de efectuada, los valores disminuyen para ambas profundidades.

Al aplicar quemadas prescritas en bosques donde predominan *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea* observaron que los valores del porcentaje de materia orgánica sufrieron alteraciones estadísticamente significativas, luego de aplicada la quema prescrita (Martínez *et al.* 2010).

Flores (2009_c), encontró un ligero incremento después de aplicar quemas prescritas. Flores *et al.* (2010_b), observaron después de un incendio un incremento significativo del porcentaje de materia orgánica, al comparar el área no quemada con área quemada, cinco meses después del fuego de 0,85% a 2,21%, lo que significa que este aumento fue debido al incendio.

La Figura 15 muestra el efecto del fuego en el calcio, sodio, potasio y el magnesio a las profundidades de 0 a 10cm, donde se aplicó quemas prescritas en retroceso. El magnesio mostró un ligero aumento en sus valores hasta los 135 días posteriores a las quemas de 0,32 a 0,40 mEq.100 g⁻¹ disminuyendo hasta llegar a 0,34, valores muy cercanos a los iniciales a los 12 meses. Por su parte, Arocena y Opio (2003) observaron un aumento después de la aplicación de quemas prescritas del contenido de Mg²⁺.

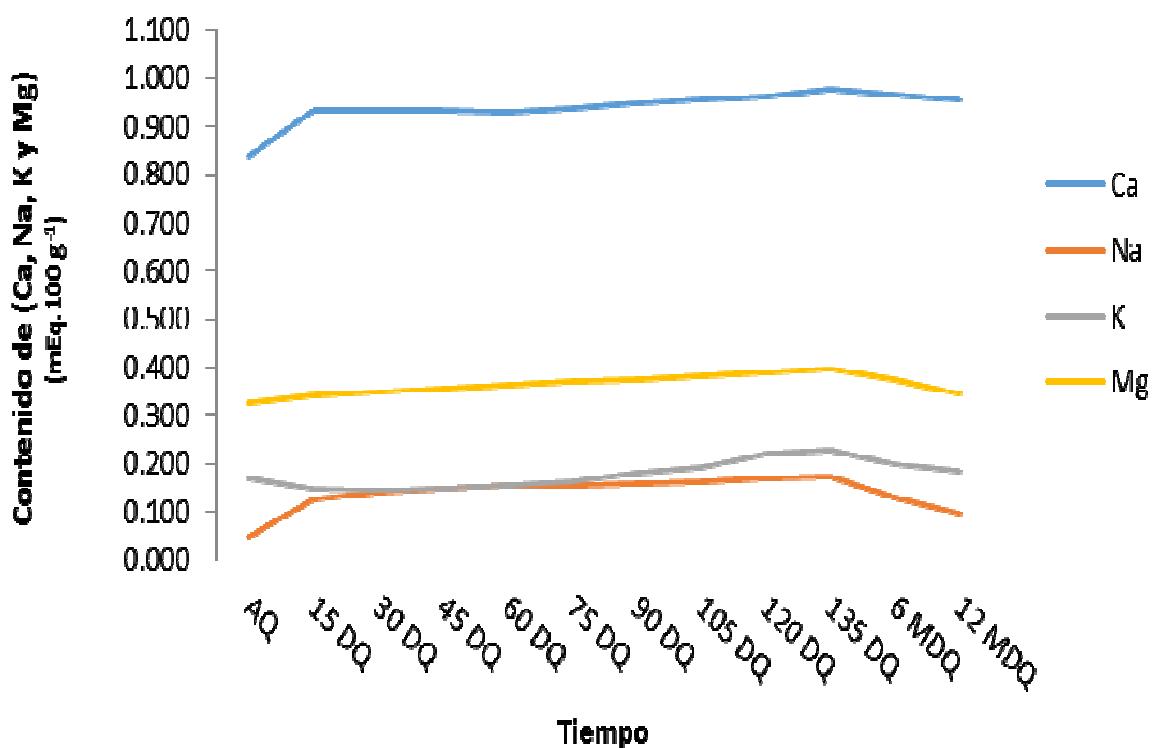


Figura15. Variación del Ca²⁺, Na⁺, K⁺ y Mg²⁺ donde se aplicó quema prescrita en retroceso.

Leyenda: (AQ) antes de la quema, (DQ) después de la quema y (MDQ) meses después de la quema.

Por su parte, Pérez (2012), al aplicar quemas prescritas en *Pinus cubensis* observó que el porcentaje de materia orgánica de 0 a 10cm de profundidad, mostró un aumento significativo a los siete días después de las quemas prescritas y una disminución a los 18 meses después, pero sin llegar a los valores iniciales. De 10 a 20cm no se encontraron diferencias significativas entre los tiempos.

El calcio (Ca^{2+}) y el sodio (Na^+), aumentaron hasta los 15 días posteriores a las quemas, después se mantuvieron estables hasta los 135 días que disminuyeron hasta llegar a valores muy cercanos a los iniciales a los 12 meses. El potasio (K^+) tuvo una ligera disminución a los 15 días de las quemas, alcanzando los valores a los 105 días, llegando a su máximo valor a los 120 días, disminuyendo de forma gradual a los 12 meses.

En la Figura 16 se observa el contenido de sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y potasio (K^+) del suelo antes y después del fuego, apreciándose que el calcio aumentó significativamente hasta los 15 días después del fuego, aunque disminuye hasta los 12 meses sin llegar a los valores iniciales. Por su parte, el sodio mostró un aumento en todos los tiempos, a los quince días después se mantuvo estable, pero se observó un aumento 12 meses después de las quemas.

El potasio no mostró diferencias significativas antes de las quemas prescritas y quince días después, pero sí un aumento significativo a los 135 días disminuyendo posteriormente a los 12 meses.

El magnesio mostró un ligero aumento en sus valores hasta los 120 días posteriores a las quemas, hasta $0,38 \text{ mEq.}100 \text{ g}^{-1}$; disminuyendo hasta 0,34 a los 135 días con valores muy cercanos a los iniciales a los 12 meses.

Los bosques de coníferas se mantienen productivos a largo plazo, si el fuego libera los nutrientes que se han ido acumulando sobre el piso del bosque o si el hombre introduce un sistema de corta y destrucción que tenga el mismo efecto. Uno de los sistemas que se puede utilizar es el caso de las quemas prescritas (Urrutia, 2012).

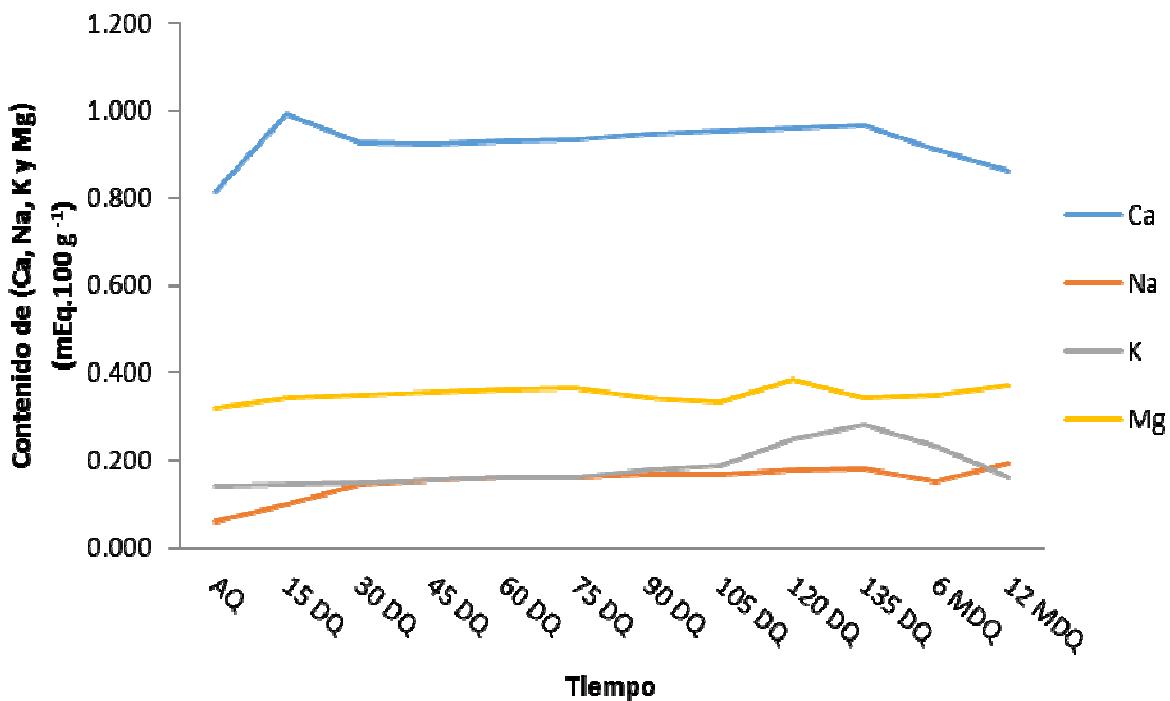


Figura 16. Variación del Ca, Na, K y Mg donde se aplicó quema prescrita en avance

Leyenda:(AQ) antes de la quema, (DQ) después de la quema y (MDQ) meses después de la quema.

Según MINAG (1984) los contenidos de nutrientes se clasifican de bajos antes y después de las quemas.

Martínez (2006), encontró que al aplicar quemas prescritas en bosques de *Pinus tropicalis* los nutrientes estaban de forma deficiente antes y después de quemar. Destacando incrementos significativos de Na^+ y K^+ con el transcurso del tiempo. En el Ca^{2+} y el Mg^{2+} observó valores inferiores no significativos. Asimismo Chávez *et al.* (2010) encontró incrementos de Ca^{2+} y de Mg^{2+} luego de la aplicación de quema en *P. oocarpa*.

Al aplicar quema prescrita en *P. cubensis* Pérez *et al.* (2012) obtuvieron variaciones del contenido de calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+) y el potasio (K^+) del suelo antes y después del fuego a diferentes profundidades, observando que el calcio aumentó significativamente después del fuego en las dos profundidades. Por su parte, el sodio mostró un aumento significativo en todos los tiempos de 0 a 10cm, de 10 a 20cm, siete días después se

mantuvo estable, pero se observó un aumento significativo 18 meses después de las quemas.

Por su parte, Flores (2009a), observó después de aplicar quemas prescritas en bosques dominados por *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus oocarpa* que el Ca^+ y Mg^+ se mantienen estables y el K^+ se incrementa. Flores *et al.* (2010b), encontraron cinco meses después de un incendio que el K^+ bajó en un 9,4%, aunque la disminución no fue significativa estadísticamente. En el caso de los nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn , y NH_4 , el fuego provocó impactos considerables.

Las concentraciones de (K^+ , Mg^{2+} , Fe, Mn, Cu, y B) en rodales de *Pinus caribaea* después de aplicar quemas prescritas, el Ca^{2+} , no mostró incrementos significativos, retornando a los niveles anteriores después de 7 meses (Soares, 1990).

Arocena y Opio (2003), encontraron aumentos de calcio, magnesio y sodio intercambiables, mientras que no detectaron cambios en el contenido de nitrógeno total y disponible.

Al someter a dos suelos donde predomina la especie *Stipaichua* a diferentes temperaturas, observaron que los mayores cambios en las propiedades químicas ocurrieron a la temperatura de 500 °C y 600 °C, por debajo de estas los cambios fueron mínimos. En las quemas prescritas las temperaturas son bajas, por lo que provocan pocos cambios en el suelo (Hepper *et al.* 2008).

De forma general, tanto en avance como en retroceso, la materia orgánica y el pH tuvieron un ligero aumento, retornando a valores similares a los iniciales a los 12 meses posteriores y los cationes Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y Mg^{2+} incrementaron en un rango muy pequeño estabilizando sus valores a los 12 meses.

4.4. Evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la vegetación

4.4.1. Comportamiento de la vegetación

Para evaluar los impactos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la vegetación se instalaron 4 parcelas de 100 m^2 para cada método de quema, la intensidad de muestreo fue de 18,23 % y el error relativo de 0,68. Hasta la fecha solo se ha efectuado

un estudio tratando la dinámica de la vegetación y la regeneración natural del *Pinus cubensis* después del fuego pero solo usando el método de quema prescrita en avance. Sin embargo, pueden encontrarse varios estudios de los efectos del fuego en los bosques tropicales.

En consideración a lo anterior De las Heras *et al.* (2006), indican que el fuego como elemento natural, es un factor positivo entre los que definen la estación y ha contribuido, desde siempre, a la repartición y selección de las especies, a la composición de las formaciones vegetales y a la estabilidad, alternancia o sucesión de sus etapas, hasta tal punto que en muchos casos es necesario para multiplicaciones de ciertas especies y la regeneración de sus formaciones.

Se realizó el estudio de la dinámica de la vegetación asociada al *Pinus cubensis*, principalmente los arbustos, hierbas y lianas hasta tres meses después de aplicar quemas prescritas en avance y retroceso, observando los siguientes resultados donde se utilizó el método de quema prescrita en avance: una semana antes de aplicar las quemas prescritas el estrato arbóreo estaba compuesto por: *Persea anomala* Britton & P.Wilson, *Guarea guara* (Jacq.) P.Wilson, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Pinus cubensis*, *Zanthoxylum martinicense* (Lam.) DC., *Cupania americana* L., *Allophylus cominia* (L.) Sw., *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez, *Psidium guajava* L., *Nectandra coriacea* (Sw.) Griseb. y *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb.

El arbustivo por: *Persea anomala*, *Psidium guajava*, *Didymopanax morototoni* (Aubl.), *Cupania americana*, *Chrysophyllum oliviforme* L., *Allophylus cominia*, *Roystonea regia* (Kunth) O.F.Cook, *Clusia rosea* Jacq., *Cyathea* sp., *Rapanea ferruginea*, *Alchornea latifolia* Sw., *Nectandra coriacea*, *Nectandra membranacea*, *Miconia dodecandra* (Desv.) Cogn., *Guarea guara*, *Bactris cubensis* Burret., *Baccharis scoparioides* Griseb., *Geoffroea inermis* (yaba) y *Miconia elata* (Sw.) DC.

El herbáceo por: *Nephrolepis* sp. (helecho), *Spathoglottis plicata* L., *Cassytha filiformis* L. (bejucos fideo), *Sorghastrum stipoides* (Kunth) Nash in Britton & Underw. (pajón macho), *Panicum maximum* Jacq. (hierba de guinea), *Cordia globosa* (Jacq.) Kunth (rompe camisa), *Euphorbia pilulifera* Lin. (tapón), *Guarea guara*, *Clusia rosea*, *Rapanea ferruginea*, *Nectandra membranacea*, *Erythrina glauca* Willd. (Búcaro), *Rhynchosia*

minima(L.) D.C. (frijolillo), *Digitaria decumbens* Sstent. (pangola), *Brachiariaextensa* Chase (gumbutera), *Panicum pilosum* Sw. (araña), *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf (paraná), *Cynodon dactylon* (L.) Pers., (herba bermuda), *Baccharis scoparioides*, *Merremia umbellata* (L.) Haller f. (pico de gallo), *Miconia dodecandra*, *Miconia elata*.

Donde se utilizó el método de quema prescrita en retroceso se observaron los siguientes resultados: una semana antes de aplicar las quemas prescritas el estrato arbóreo estaba compuesto por: *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez, *Psidium guajava* L., *Persea anomala* Britton & P.Wilson, P.Wilson, *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Pinus cubensis*, *Zanthoxylum martinicense* (Lam.) DC., *Cupania americana* L., *Allophylus cominia* (L.) Sw., *Nectandra coriacea* (Sw.) Griseb. Y *Guarea guara* (Jacq.).

El arbustivo por: *Persea anomala*, *Psidium guajava*, *Didymopanax morototoni* (Aubl.), *Cupania americana*, *Chrysophyllum oliviforme* L., *Allophylus cominia*, *Roystonea regia* (Kunth) O.F.Cook, *Clusia rosea* Jacq., *Cyathea* sp., *Rapanea ferruginea*, *Alchornea latifolia* Sw., *Nectandra coriacea*, *Nectandra membranacea*, *Miconia dodecandra* (Desv.) Cogn., *Guarea guara*, *Bactris cubensis* Burret., *Baccharis scoparioides* Griseb, *Geoffroea inermis* (yaba) y *Miconia elata* (Sw.) DC.

El herbáceo por *Nephrolepis* sp. (helecho), *Spathoglottis plicata*, *Cassytha filiformis* L. (bejuco fideo), *Sorghastrum stipoides* (Kunth) Nash in Britton & Underw. (pajón macho), *Panicum maximum* Jacq. (herba de guinea), *Cordia globosa* (Jacq.) Kunth (rompe camisa), *Euphorbia pilulifera* Lin. (tapón), *Guarea guara*, *Clusia rosea*, *Rapanea ferruginea*, *Nectandra membranacea*, *Erythrina glauca* Willd. (Búcaro), *Rhynchosia minima* (L.) D.C. (frijolillo), *Digitaria decumbens* Sstent. (pangola), *Brachiariaextensa* Chase (gumbutera), *Panicum pilosum* Sw. (araña), *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf (paraná), *Cynodon dactylon* (L.) Pers., (herba bermuda), *Baccharis scoparioides*, *Merremia umbellata* (L.) Haller f. (pico de gallo), *Miconia dodecandra*, *Miconia elata*.

Esto demuestra que el ecosistema estaba en estado de sucesión debido a la aparición de varias especies latifoliadas, que no abundan en estos ecosistemas, además que no se encontró ningún individuo del *Pinus cubensis* en los estratos herbáceo y arbustivo, por lo

que es de esperar que si no se aplican medidas, la tendencia va ser a la desaparición de los bosques naturales de la especie.

Esto puede estar dado, entre otros elementos, al igual que en otras regiones del mundo, al éxito de la protección contra incendios que ha llevado al aumento de la carga de combustible, en esta región, según el informe del CGB (2017), hace más 10 años no ocurren incendios forestales, además, no se realiza ningún tratamiento silvicultural.

Flores y Cabrera (2009), refieren que en la ausencia de incendios, las especies longevas y aquellas que se pueden regenerar y crecer bajo árboles adultos, se volverán dominantes. Si se quiere mantener un paisaje donde dominen las especies de pino, se deben utilizar, por lo general, algunas medidas de control como el fuego para detener el avance de la sucesión.

Una semana después de las quemas prescritas en el estrato arbóreo se observaron algunos daños en las especies latifoliadas, identificándose las siguientes especies *Pinus cubensis*, *Persea anomala*, *Psidium guajava*, *Guarea guara*, *Nectandra coreacea*, *Nectandra membranacea*, *Cupania americana*, pero no hubo daños apreciables en los pinos, solo carbonización en la base de la corteza pero sin consecuencias considerables; en el arbustivo los daños sí fueron apreciables, solo quedaron las siguientes especies *Rapanea ferruginea*, *Alchornea latifolia*, *Zanthoxylum martinicense*, *Cupania americana*, *Persea anomala*, *Guarea guara*, *Miconia dodecandra*, *Nectandra membranacea*, *Baccharis scoparioides* y *Nectandra coreacea* con daños entre el 10 y el 50 %; el estrato herbáceo fue quemado completamente.

Esta disminución de la vegetación favorece el establecimiento de la regeneración del *Pinus cubensis* ya que al disminuirle la competencia, la especie tiene mayor probabilidad de establecerse. Por ejemplo, la quema controlada es usada para reducir la invasión de especies latifoliadas de bajo valor comercial en rodales de *Pinus* sp, en el Sur de los EE.UU de acuerdo con Ramos (2010).

A los tres meses de aplicadas las quemas prescritas se identificaron las siguientes especies en el estrato herbáceo: *Pinus cubensis*, *Nephrolepis* sp, *Urena lobata* L. (malvarosa), *Brachiaria extensa*, *Digitaria decumbens*, *Alchornea latifolia*, *Pteridium aquilinum* var. *Caudatum*, *Merremia umbellata*, *Stachytarpheta jamaicensis* (L.) Vahl,

Zanthoxylum martinicense, *Brachiaria mutica*; las especies que germinaron después del fuego hasta ese momento no se habían incorporado al estrato arbustivo por el corto tiempo transcurrido.

Estudios de Cochrane *et al.* (1999), Gerwing (2002), Cochrane (2003), Barlow *et al.* (2003) y elvanauskas *et al.* (2003), destacan la incidencia e importancia del fuego en la dinámica del bosque en los trópicos. En este sentido, Haberle y Ledru (2001), estudiaron la historia del fuego en varios bosques tropicales de Centro y Sur-América. En Cuba se tiene muy poca referencia del efecto del fuego en los ecosistemas forestales tanto en quemas prescritas como incendios forestales.

Antes del fuego donde se aplicó quema en avance se encontraron un total de 33 especies, perteneciente a 23 familias, las más representadas fueron la Poaceae con 7 especies, representando el 21,21 % del total, Fabaceae con 3 especies, para un 9 % y la Lauraceae con 3 especies, siendo este valor el 9 %.

A los siete días después de las quemas en avance se observaron un total de 14 especies, representando el 42,42 % de las encontradas antes del fuego, esta disminución se debe a que fue consumido por el fuego el estrato herbáceo completamente. Dos meses después del fuego se encontraron un total de 18 especies, siendo este el 54,54%. Tres meses después del fuego se detectaron 26 especies, siendo este el 78 % de la cantidad de especies encontradas antes de las quemas, las especies pertenecen a 13 familias, las más representadas fueron la Poaceae y la Lauraceae con 3 especies, que representa el 9 %, lo que se observa en la Tabla 8.

En las parcelas donde se aplicó quema en retroceso se encontraron un total de 39 especies, perteneciente a 27 familias, las más representadas fueron la Poaceae con 7 especies, representando el 17,95 % del total, Lauraceae con 4 especies, siendo este valor el 10,25 % y la Fabaceae con 3 especies, para un 7,69 %.

A los siete días después de las quemas en retroceso se observaron un total de 15 especies, representando el 38,46 % de las encontradas antes del fuego, esta disminución se debe a que fue consumido por el fuego el estrato herbáceo completamente. Dos meses después del fuego se encontraron un total de 22 especies, siendo este el 56,41 %. Tres meses después del fuego se detectaron 26 especies, siendo este el 66 % de la cantidad de

especies encontradas antes de las quemas, las especies pertenecen a 16 familias, las más representadas fueron la *Poaceae* y la *Lauraceae* con 3 especies, que representa el 28,58 %, lo que se observa en la Tabla 9.

Después de las quemas prescritas tanto en avance como en retroceso se observó, que en avance a los tres meses las especies se habían recuperado en un 66 % y en retroceso en un 78 %, por lo que estas especies de este ecosistema tienen gran capacidad para repoblar áreas influenciadas por el fuego. Xelhantzi *et al.* (2010), plantean que la presencia del fuego en los bosques constituye un factor limitante para las especies que son susceptibles a los incendios; sin embargo, para aquellas especies que requieren del fuego es una alternativa que garantiza su permanencia. Petrovna (2009), manifiesta que en los ecosistemas boscosos, los incendios forestales son un elemento esencial para los procesos de sucesión biológica y mantenimiento de la estabilidad ecológica.

Tabla 8. Especies encontradas antes y después de las quemas prescritas en avance.

| Especies | | | | Familia |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
| | Antes | Una semana | Dos meses | |
| | de después quemar | después de quemar | después de quemar | |
| | | | | |
| <i>Cordia globosa</i> | X | | X | Boraginaceae |
| <i>Brachiaria mutica</i> | X | | | Poaceae |
| <i>Erythrina gluaca</i> | X | | X | Fabaceae |
| <i>Cassytha filiformis</i> | X | | X | Lauraceae |
| <i>Miconia elata</i> | X | | | Melastomataceae |
| <i>Pteridium aquilinum</i> | X | X | X | Dennstaedtiaceae |
| <i>Didymopanax morototoni</i> | X | X | X | Araliaceae |

| | | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|---|------------------|
| <i>Ceiba pentandra</i> | X | X | X | X | Bombacaceae |
| <i>Roystonea regia</i> | X | X | X | X | Arecaceae |
| <i>Merremia umbellata</i> | X | X | X | X | Convolvulaceae |
| <i>Baccharis scoparioides</i> | X | | | | Asteraceae |
| <i>Rhynchosia minima</i> | X | | | | Fabaceae |
| <i>Sorghastrum stipoides</i> | X | X | X | X | Poaceae |
| <i>Cupania americana</i> | X | X | X | X | Sapindaceae |
| <i>Bactris cubensis</i> | X | X | X | X | Arecaceae |
| <i>Allophylus cominia</i> | X | | | | Sapindaceae |
| <i>Geoffroea inermis</i> | X | | X | X | Fabaceae |
| <i>Nectandra coriacea</i> | X | X | X | X | Lauraceae |
| <i>Nephrolepis sp</i> | X | | | | Lomariopsidaceae |
| <i>Cynodon dactylon</i> | X | | | | Poaceae |
| <i>Digitaria decumbens</i> | X | X | X | X | Poaceae |
| <i>Brachiaria extensa</i> | X | | | | Poaceae |
| <i>Panicum pilosum</i> | X | X | X | X | Poaceae |
| <i>Psidium guajava</i> | X | | | | Myrtaceae |
| <i>Persea anomala</i> | X | X | X | X | Lauraceae |
| <i>Chrysophyllum oliviforme</i> | X | X | X | X | Sapotaceae |
| <i>Clusiaceae</i> | X | | | | Clusiaceae |
| <i>Alchornea latifolia</i> | X | | | | Euphorbiaceae |
| <i>Rapanea ferruginea</i> | X | | | | Myrsinaceae |

| | | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|---|--------------|
| <i>Pinus cubensis</i> | X | X | X | X | Pinaceae |
| <i>Spathoglottis plicatn</i> | X | | | | Orchideaceae |
| <i>Zanthoxylum martinicense</i> | X | | X | X | Rutaceae |
| <i>Panicum maximum</i> | X | | | X | Poaceae |

Tabla 9. Especies encontradas antes y después de las quemas prescritas en retroceso

| Especies | Antes de quemar | | | Una semana después de quemar | Dos meses después de quemar | Tres meses después de quemar | Familia |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| | Antes de quemar | después de quemar | después de quemar | meses | meses | meses | |
| | | | | | | | |
| <i>Spathoglottis plicatn</i> | X | | | | X | | Orchideaceae |
| <i>Merremia umbellata</i> | X | | | | | | Convolvulaceae |
| <i>Baccharis scoparioides</i> | X | | | X | | X | Asteraceae |
| <i>Rhynchosia minima</i> | X | | | X | | X | Fabaceae |
| <i>Sorghastrum stipoides</i> | X | | | | | | Poaceae |
| <i>Erythrina gluaca</i> | X | X | X | | | X | Fabaceae |
| <i>Cassytha filiformis</i> | X | X | X | | | X | Lauraceae |
| <i>Miconia elata</i> | X | X | X | | | X | Melastomataceae |
| <i>Pteridium aquilinum</i> | X | X | X | | | X | Dennstaedtiaceae |
| <i>Didymopanax morototoni</i> | X | X | X | | | X | Araliaceae |
| <i>Ceiba pentandra</i> | X | | | | | | Bombacaceae |
| <i>Roystonea regia</i> | X | | | | | | Arecaceae |

| | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|---|------------------|
| <i>Stachytarpheta jamaicensis</i> | X | X | X | X | Verbenaceae |
| <i>Urena lobata</i> | X | X | X | X | Malvaceae |
| <i>Nephrolepis sp</i> | X | X | X | X | Lomariopsidaceae |
| <i>Cynodon dactylon</i> | X | | | | Poaceae |
| <i>Digitaria decumbens</i> | X | | X | X | Poaceae |
| <i>Brachiaria extensa</i> | X | X | X | X | Poaceae |
| <i>Panicum pilosum</i> | X | | | X | Poaceae |
| <i>Psidium guajava</i> | X | | | | Myrtaceae |
| <i>Persea anomala</i> | X | X | X | X | Lauraceae |
| <i>Nectandra membranacea</i> | X | | | | Lauraceae |
| <i>Miconia dodecandra</i> | X | X | X | X | Melastomataceae |
| <i>Guarea guara</i> | X | | | | Meliaceae |
| <i>Chrysophyllum oliviforme</i> | X | X | X | X | Sapotaceae |
| <i>Clusiarirosea</i> | X | X | X | X | Cluseaceae |
| <i>Alchornea latifolia</i> | X | | | | Euphorbiaceae |
| <i>Rapanea ferruginea</i> | X | | | X | Myrsinaceae |
| <i>Pinus cubensis</i> | X | X | X | X | Pinaceae |
| <i>Cupania americana</i> | X | | X | X | Sapindaceae |
| <i>Bactris cubensis</i> | X | | | | Arecaceae |
| <i>Allophylus cominia</i> | X | | | | Sapindaceae |
| <i>Geoffroea inermis</i> | X | | | | Fabaceae |
| <i>Nectandra coriacea</i> | X | | X | X | Lauraceae |

| | | | | |
|---------------------------------|---|---|---|---------------|
| <i>Zanthoxylum martinicense</i> | X | | | Rutaceae |
| <i>Panicum maximum</i> | X | | X | Poaceae |
| <i>Euphorbia pilulifera</i> | x | X | X | Euphorbiaceae |
| <i>Cordia globosa</i> | x | | X | Boraginaceae |
| <i>Brachiaria mutica</i> | x | | X | Poaceae |

Martínez (2006), al aplicar quemas prescritas en bosques de *Pinus tropicalis* observó que después del fuego los estratos herbáceo y arbustivo fueron eliminados completamente, pero a los dos meses después se observaron varias especies endémicas que no se habían encontrado antes del fuego, además se registró una mayor cantidad de especie y que el fuego no provocó daños apreciables a los pinos del estrato arbóreo.

Un elemento fundamental a tener en cuenta es la estrategia reproductiva de las especies, por lo que se determinaron las especies que se propagaron por semillas, por rebrotes y por ambas, en la Tabla 10 se muestra que la mayoría de las especies se propagaron por semillas, solamente la especie *Zanthoxylum martinicense*, se propagó por semilla y por rebrotes.

La elevada propagación por semillas puede deberse a varios elementos de acuerdo con Aguirre (2006), algunas plantas soportan los incendios y luego rebrotan, lo cual ocurre en especies de arbustos y subarbustos leñosos cuyas raíces leñosas alcanzan considerable profundidad que les permite resguardarse de la acción del fuego. La capacidad de algunas especies para rebrotar después de un incendio forestal depende de la intensidad y frecuencia de los incendios, edad, forma de vida o hábito de crecimiento y modificación de sus raíces.

Tabla 10. Estrategia reproductiva de las especies.

| Species | Semilla | Rebrote |
|-----------------------------------|---------|---------|
| <i>Merremia umbellata</i> | X | |
| <i>Brachiaria extensa</i> | X | |
| <i>Zanthoxylum martinicense</i> | X | x |
| <i>Nephrolepis sp</i> | X | |
| <i>Pteridium aquilinum</i> | X | |
| <i>Stachytarpheta jamaicensis</i> | X | |
| <i>Alchornea latifolia</i> | X | |
| <i>Digitaria decumbens</i> | X | |
| <i>Urena lobata</i> | X | |
| <i>Pinus cubensis</i> | X | |
| <i>Brachiaria mutica</i> | X | |

Las comunidades de especies de plantas post-fuego, por consiguiente, son a menudo similares a comunidades antes del fuego o comunidades que existen en las áreas adyacentes sin quemar (De Bano *et al.* 1998). El fuego estimula la germinación de semillas que están en el suelo y contribuye a la regeneración de muchas especies.

4.4.2. Indicadores ecológicos

Moreno (2001), manifiesta que la riqueza específica es la forma más sencilla de medir la diversidad biológica, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La forma ideal de medir la riqueza específica es contar con un inventario completo que nos permita conocer el número total de especies obtenido por un censo de la comunidad.

La Tabla 11 muestra el número de especie y de individuos promedio por parcela de 100 m² donde se aplicó quema prescrita en avance una semana antes y tres meses después de

las quemas prescritas se observa que disminuyó la cantidad de especieen un 21,21 %, pero hubo un aumento considerable del número de individuos después de las quemas.

Tabla 11. Riqueza específica por parcela de 100 m² donde se aplicó quema prescrita en avance.

| Factores | Antes de las quemas | Después de las quemas |
|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Número de especies | 33 | 26 |
| Cantidad de individuos | 2 226 | 4 385 |

En la Tabla 12 se muestra el número de especie y de individuos promedio por parcela de 100 m² donde se aplicó quema prescrita en retroceso una semana antes y tres mesesdespués de las quemas prescritas se observa que disminuyó la cantidad de especieen un 33,33 %, pero hubo un aumento considerable del número de individuos después de las quemas. De manera general hubo una mayor disminución del número de especies en el método de retroceso esto pudo estar sujeto a que el tiempo de residencia del fuego es mayor por lo que el fuego tuvo una mayor influencia en la vegetación.

Tabla 12. Riqueza específica por parcela de 100 m² donde se aplicó quema prescrita en retroceso.

| Factores | Antes de las quemas | Después de las quemas |
|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Número de especies | 39 | 26 |
| Cantidad de individuos | 2 436 | 4 531 |

En la Tabla 13 y 14 se observa cómo se comportó la dominancia y la diversidad antes y después de las quemas en avance y retroceso respectivamente. Moreno (2001), plantea que los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad. Toman en cuenta la representatividad de las

especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies.

Se observa que después de las quemas hay un ligero aumento de la dominancia y una disminución de la diversidad. Moreno (2001), refiere que el valor de la dominancia está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes.

Tabla 13. Análisis de la dominancia y la diversidad, antes y después de las quemas en avance.

| Índice | Antes de las | Después de las quemas |
|------------|-------------------|-----------------------|
| | quemas prescritas | prescritas |
| Simpson | 0,18 | 0,41 |
| Diversidad | 0,79 | 0,64 |

Antes del fuego existía una mayor equidad, que se reflejaba en una menor cantidad de especies raras, las especies que estaban representadas con una mayor cantidad de individuos son: *Nephrolepis sp*, *Panicum pilosum* y *Digitaria decumbens*. Después de las quemas prescritas aumentó la dominancia fundamentalmente por *Brachiaria extensa* y *Zanthoxylum martinicense* respectivamente. Antes de las quemas prescritas se observó la especie *Pinus cubensis* en todas las parcelas, pero no en el estrato herbáceo, después del fuego sí se observó en el estrato herbáceo en todas las parcelas.

Tabla 14. Análisis de la dominancia y la diversidad, antes y después de las quemas en retroceso.

| Índice | Antes de las | Después de las |
|------------|-------------------|-------------------|
| | quemas prescritas | quemas prescritas |
| Simpson | 0,21 | 0,39 |
| Diversidad | 0,84 | 0,71 |

4.5Evaluación de los efectos de las quemas prescritas sobre regeneración natural de *Pinus cubensis*

Pérez *et al.* (2010a), refiere que aumentando la regeneración natural del *Pinus cubensis* se garantiza la continuidad de los ecosistemas naturales de esta especie que han ido desapareciendo a un paso acelerado, debido a este fenómeno y a la tala excesiva. Por otra parte Betancourt (1987), plantea que la regeneración del *Pinus cubensis* depende también de la disposición de árboles productores de semilla que exista en el área. Al existir una elevada acumulación de material combustible en el piso del bosque, además de la poca iluminación que penetra al interior del bosque, han contribuido a la disminución de la regeneración natural de esta especie.

Debido a lo planteado anteriormente fue necesario determinar la cantidad de semillas existentes en el área. Se observó que la cantidad de conos promedio por árbol fue de 12, no es muy elevada pero aporta una cantidad de semillas suficiente como para que ocurra una elevada regeneración natural, la cantidad de semillas por cono es de 37, coincidiendo con Betancourt (1987), que plantea que la especie produce de 30 a 40 semillas por cono.

Rodríguez (2009), refiere que en varios casos el ala de las semillas y su pequeño tamaño son considerados adaptaciones para colonizar sitios quemados, gracias a la dispersión por el viento. Tal es el caso del *Pinus cubensis*. Plantean los autores anteriores que diversas especies presentan latencia física cuya eliminación se relaciona con el fuego. Por su parte Rodríguez (2009), plantea que las semillas de los árboles de sabana, *Curatella americana* L.y *Crescentia cujete* L., germinan mejor después de ser quemadas superficialmente. Si bien las semillas tienen cierta tolerancia al calor, particularmente sí cuentan con latencia física, el daño por el fuego dependerá de si se libera la semilla y luego acontece un incendio o de si esta cae sobre un lecho de cenizas como sucede con varios pinos.

De acuerdo con la clasificación de Moreno (2004), el número de árboles por hectárea observado a los 45 días era insuficiente y con una distancia entre arbolitos mayor de cuatro metros, a los 90 días de la densidad era suficiente y la distancia entre arbolitos entre tres y cuatro metros, a los 150 días la densidad era recomendable y la distancia entre los arbolitos de dos a tres metros, a los 450 y 540 días la densidad era excesiva y la distancia entre los arbolitos de la regeneración es entre uno y dos metros. Por lo que se

coincide con Pérez *et al.* (2010c), quienes plantean que el fuego juega un papel importante en la continuidad de estos ecosistemas.

El aumento de regeneración natural después del fuego se debe, fundamentalmente, a la disminución de la cantidad de material combustible y a la cobertura de la misma al suelo, el incremento paulatino en los cinco primeros meses puede estar dado a que las semillas comienzan a ser liberadas a partir de septiembre y se puede extender hasta varios meses después. Se observó un aumento entre los 450 y 540 días, debido a la producción de semillas del año siguiente a la aplicación de las quemas prescritas (Pérez *et al.* 2012).

Estos resultados coinciden con lo planteado por Flores (2009b), quien refleja que la regeneración natural puede ser mejor donde las camas semilleras son preparadas por las quemas prescritas, aunque en algunos casos, esta reproducción es mejor donde los árboles (vivos o muertos) sombreaban el lecho semillero. Según Bell (1992), citado por Flores (2009b), las especies forestales que dependen del fuego para la liberación de las semillas, después de la quema liberan una mayor cantidad de semillas viables para la regeneración de plantaciones forestales.

Por lo que se coincide con Flores y Cabrera (2009), los que plantean que mientras que algunas especies o comunidades florecen después de un incendio, otras plantas son limitadas o eliminadas por este. Así, el fuego es, a la vez, una poderosa herramienta o un importante agente de daño, dependiendo de la respuesta de las especies y el tipo de paisaje que la sociedad quiera.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Pérez *et al.* (2009), los autores manifiestan que al realizar un diagnóstico en bosques de *Pinus cubensis* en Baracoa observaron que la regeneración natural de la especie era nula, debido, fundamentalmente, a la elevada cantidad de material combustible. Por su parte Flores (2009b), al realizar una evaluación de la regeneración natural en bosques de pino, donde las principales especies son *Pinus devonianana*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus leiophylla*, en México, al aplicar quemas prescritas en retroceso y en avance en el año 1991, observó, a los dos años después, que el número de individuos por hectárea de pino donde se aplicó quema en avance fue de 1 357, en el área que se quemó en retroceso de 1 394 y en la parcela testigo 161, lo que demuestra que el fuego juega un papel fundamental en la mayoría de

las especies de pino. La cantidad de individuos, tanto en las parcelas quemadas en avance como en retroceso, fue mucho menor que lo observado en esta investigación.

Tal como indica De las Heras *et al.* (2005), el fuego como elemento natural, es un factor positivo entre los que definen la estación y ha contribuido, desde siempre, a la repartición y selección de las especies, a la composición de las formaciones vegetales y a la estabilidad, alternancia o sucesión de sus etapas, hasta tal punto que en muchos casos, es necesario para multiplicaciones de ciertas especies y la regeneración de sus formaciones, tal es el caso de los ecosistemas de *Pinus cubensis*.

Se determinó en todos los inventarios el color del follaje y daños, el vigor y la altura de los individuos en (cm), en el caso del color se observó que todos los individuos tenían un color verde oscuro y buen vigor lo que muestra que las plantas estaban sanas, tampoco se observaron daños provocados por las plagas.

Los individuos fueron incrementando la altura a medida que transcurrió el tiempo, variando de 1,54 cm como promedio en el primer muestreo hasta 41,77 cm a los 540 días después del fuego, el mínimo fue de 23 cm, el máximo de 57 cm y la moda de 43 cm. Schiliski *et al.* (2007), plantean que el fuego es un factor ecológico que cuando se manifiesta como parte de regímenes de fuego adecuados ayuda a mantener el 53 % de los ecosistemas a nivel mundial.

4.6 Beneficios económicos de las quemas prescritas frente a la reforestación de bosques de *Pinus cubensis*

En el marco de la Actualización de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2016-2021, aprobados en el 7^{mo} Congreso del Partido en abril de 2016 y por la Asamblea Nacional del Poder Popular en julio de 2016, específicamente en los lineamientos 98, 101 y 102 de la Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente; se hace énfasis a la importancia de la aplicación de técnicas que conlleven a resultados que asegure lograr a corto y mediano plazos los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social, de manera que permita sostener y desarrollar los resultados alcanzados en el campo de las ciencias naturales, las ciencias agropecuarias, los servicios científicos -técnicos de alto valor agregado.

La quema prescrita es el método más económico para reducir altas cargas de materiales combustibles en los bosques (Cantelo, 2011). De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAP) (1999) y (2006), el fuego aplicado cuidadosamente a través de las quemas prescritas constituye la herramienta más eficiente en la ejecución del manejo del combustible para diferentes propósitos, en el control de incendios forestales (como prevención y apoyo al combate), en el control de plagas y enfermedades y en la preparación del terreno para la repoblación.

Por tanto la aplicación de estas técnicas de quema facilita el control del combustible forestal desde una perspectiva coste-eficiente, reduciendo los costes frente al desbroce mecánico, que se traduce en ahorros de presupuestos y recursos al país. A su vez, son utilizadas como actividad formativa aportando un mayor conocimiento sobre el comportamiento del fuego que puede ser utilizado en las tareas de extinción de incendios y en el uso del contrafuego.

Los beneficios económicos de la investigación radican, en que, al restarle el costo de la aplicación de quema prescrita en una hectárea de bosque de *Pinus cubensis* que es de \$ 466,67 al de reforestación de una hectárea de esta especie que es \$ 2 716,73, se obtiene que se ahorran \$ 2 250,06 por hectárea, lo que representa el 82,82 % del costo por reforestación, demostrando así las ventajas económicas de las quemas prescritas.

Como resultado final de la investigación se obtiene que cada año deba evitarse la pérdida de aproximadamente 2 250,06 pesos lo que constituye un aporte importante a la materialización de la política económica del país en general y del desarrollo forestal. Es importante destacar, que al evitar estas afectaciones se contribuye en alguna medida al logro del manejo forestal sostenible, como establece la política agroindustrial del sector forestal en su lineamiento 169, que exhorta al desarrollo de mecanismos de mantenimiento, conservación y fomento de plantaciones forestales.

Además con la disminución de la probabilidad de ocurrencia de los siniestros, se evita la destrucción de uno de los mecanismos más importantes que tiene la naturaleza para fijar el CO₂ atmosférico, la pérdida de la biodiversidad, la degradación de los suelos y la contaminación del medio ambiente, en consonancia con el lineamientos 157, que prioriza la conservación, protección y mejoramiento de los recursos naturales, entre ellos, el suelo

y los recursos fitogenéticos. (...) y el 158 donde se induce a sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente, evaluar impactos económicos y sociales de eventos extremos, y adecuar la política ambiental a las proyecciones del entorno económico y social.

Asimismo los lineamientos 156y 169 abordan sobre la sostenibilidad y desarrollo de investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente, así como mantenimiento, conservación y fomento de plantaciones forestales que priorice la protección de los ecosistemas.

En correspondencia con esto, y a partir del resultado de la investigación se mostró que las quemas prescritas reducen el combustible que yace en el sotobosque sin afectar sustancialmente el crecimiento de las especies de pinos estudiadas. Las quemas tienen efectos beneficiosos sobre la salud y vitalidad de los bosques al recuperar una distribución de los estratos de la vegetación más equilibrada. En ocasiones permiten recuperar determinados hábitats y mejorar la biodiversidad.

Los efectos visuales son rápidamente mitigados con el rebrote herbáceo y mejoran aspectos estéticos y de accesibilidad de estos paisajes. Desde el punto de vista social adquiere importante repercusión, pues contribuye al mejoramiento de la calidad ambiental y a la protección de una fuente de recursos renovables de gran importancia económica, y de un espacio natural en el que el turismo puede encontrar junto a su belleza paisajística gran potencial; todo en correspondencia con los dictado en los lineamientos 207 y 208 de la política del país para el turismo, que expresa que se debe de aprovechar las potencialidades del país que permitan un crecimiento acelerado que garantice la sostenibilidad y dinamice la economía, incrementando de manera sostenida los ingresos y las utilidades.

CONCLUSIONES

1. Las quemas prescritas en bosques de *Pinus cubensis* reducen la cantidad de material combustible en mayor proporción cuando se aplica en retroceso que en avance.
2. La intensidad, calor liberado por unidad de área, altura de las llamas y la velocidad de propagación del fuego se mantuvieron en los rangos adecuados para la aplicación de quemas prescritas.
3. Las variaciones en las propiedades químicas del suelo no alcanzan valores significativos fuera de los rangos normales para este sitio cuando se aplica quemas prescritas de mediana intensidad en bosques de *Pinus cubensis*.
4. La regeneración natural de la especie *Pinus cubensis* aumentó considerablemente después de las quemas prescritas en avance y retroceso, contrario al área no quemada, lo cual demuestra su eficacia como herramienta para manejar la regeneración natural de la especie.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar este trabajo como material de estudio para estudiantes de pregrado.
2. Recomendar a las instituciones forestales que tengan en su patrimonio bosques de pinos, consultar este material para apoyar el plan contra incendio de la entidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agee, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems. Pp. 193-218. In Ecology and Biogeography of *Pinus*. D.M. Richardson (Ed.). Cambridge Univ. Press. Cambridge.
2. Aguirre, B. 1981. Efectos del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Publicación especial. Dpto. de enseñanza, investigación y servicios en bosques. U.A.CH., Chapingo. México. 73 p.
3. Aguirre, Z. 2006. Diversidad y composición florística de un área de vegetación disturbada por incendios forestales. Dirección del Herbario Loja. Herbario Loja I. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/bosques/important/index.html>. Consultado 11/11/2017.
4. Álvarez, P. y J. C. Varona. 1988. Silvicultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 354 p.
5. Álvarez, P. y Varona, J. 2006. Silvicultura, Editorial Félix Varela, La Habana, segunda reimpresión. 354 pp.
6. Anderson, H.E. and J.K. Brown 1988. Fuel characteristics and fire behavior considerations in the wildlands. In: Fischer, W.C. and Arno, S.F. Compilers. Protecting people and homes from wildfires in the interior west. Proceedings of the Symposium and Workshop. General Technical Report. Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-251, pp. 124-130.
7. Anderson, I. Bastias, B. Genney, D. Parkin, P. y Cairney J. (2007). Basidiomycete fungal communities in Australian sclerophyll forest soil are altered by prescribed burning. *Mycological Research* 3, pp 482-486.
8. Arocena, J y Opio, C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: pp 1-16.
9. Barlow, J.; Pérez, A.; Lagan, O. y Haugaasen, T. 2003. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. *Ecology letters*. Vol. 6 (1): 6-8.
10. Batista, C. 1990. Incendio Florestal. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 115 p.
11. Batista, C. 1998. Modelos de estimativa de comportamiento do fuego. ANAIS.1º. Seminario Sul – Americano sobre control de Incendios Forestales e 5ta. Reunión

Técnica Conjunta SIF/FUPEF/IPEF sobre el control de incendios forestales. Belo Horizonte. pp 231-251.

12. Batista, C.; Ramos, M. y Figueredo, M. 2001. Manual sobre prevención de incendios forestales. Proyecto TCP/CUB/0066-FAO. La Habana. 66 p.
13. Benítez, H. 2003. Regeneración natural de *Pinus caribaea* var. *caribaea* mediante talas rasas en fajas alternas. 154 p. 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, Hermanos Saíz Montes de oca. Pinar del Río. Cuba.
14. Betancourt, A. 1966. Algunos estudios y experiencias realizados con *Pinus caribaea Morelet* en Cuba. Actas del VI Congreso Forestal Mundial, Madrid, Vol. 2: 1950-1959.
15. Betancourt, A. 1987. Silvicultura especial de los árboles maderables tropicales. Editorial Científico Técnico. Ciudad de la Habana. 427 p.
16. Betancourt, M. 1990. Aspectos técnicos do sistema bracatinga. In: Seminario sobre agrosilvicultura no desenvolvimento rural, Curitiba, 1990. Anais Curitiba: Convênio Brasil/Paraná – França – FAO, 1990. pp 41-46.
17. Bisce, J. 1988. Arboles de Cuba. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana. 284 p.
18. Bottello, H. y Cabral, T. 1990. Efeitos ecológicos dos incendios e do fogo controlado sobre o estrato arbóreo. Universidade de Trás-Os-Montes en Alto Douro. pp 77 – 83.
19. Cantelo, M. 2011. Prescribed Burning in Pine Plantations. In: The 5th International Wildland Fire Conference Sun City, South Africa. 14 p.
20. Cuerpo de Guardabosques CGB. 2017. Informe anual del comportamiento de los incendios forestales en la Provincia Guantánamo, cierre 2017. Provincia Guantánamo. 15 p.
21. Chávez, A.; Flores, J. y Xelhantzi, J. 2010. Sistema de clasificación automatizado de suelo. Folleto técnico Número 7. México. 67 p.

22. Ciesla, M. 1995. Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades. Estudio FAO Montes 122. Roma. pp 143 –163.

23. Cochrane, M. 2003. Fire science for rainforests. *Nature*. Vol. 421 (6926): 913-919.

24. Cochrane, M.; Alencar, A.; Schulze, M.; Souza, C.; Nepstad, D.; Lefebvre, P. y Davidson, E. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*. Vol. 284 (5421): 1832-1835.

25. Daza, A., M. Camacho, L. Romero de la Osa, J.L. Manjón, G. Moreno y C. Santamaría. 2007. Distribución especial de la fructificación del hongo ECM comestible *Amanita ponderosa* Malencon & R. durante seis años consecutivos en un encinar adehesado de la sierra de Aracena (Huelva). *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 16: 89- 94.

26. De Bano, L.; Neary, D. y Ffolliott, G. 1998. Fire's effects on ecosystems. John

27. De las Heras, J.; Bonilla, M. y Martínez, L. 2005. Early vegetation dynamics of *Pinus tropicalis* Morelet forests after experimental fire (W Cuba). *Annals of Forest Science*. Vol. 62: 771-777.

28. De las Heras, J.; Bonilla, M. y Martínez, L. 2006. Germination after heat treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* seeds of Cuban forests. *Annals of Forest Science*. Vol. 63: 469-475.

29. De Ronde, C; J.G. Goldammer; D.D. Wade y R.V. Soares 1990. Prescribed fire in industrial plantations. In: Goldammer, J.G. *Fire in the Tropical Biota- Ecosystem and global Challenges*. Berlin: Springer-Verlag, (Ecological Studies, Vol. 84). pp. 216-272.

30. Durán, F. 2015. Efectos de dos técnicas de quema en los hongos ectomicorrízicos en bosques de *Pinus Cubensis*. Universidad de Pinar del Río, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales.

31. Durán, F.; Martínez, L. y Pérez, E. (2014a). Influencia de quema en retroceso sobre indicadores forestales y poblaciones microbianas del suelo en bosque natural de *Pinus cubensis* Grisib. *Hombre ciencia y tecnología*. No. 69, ISSN: 1028-0871.

32. Durán, F.; Martínez, L.; Gallegos, A.; Pérez, E.; Suarez, Y. y Matos, A. (2014b). influencia de quema prescrita en especies de hongos ectomicorrízicos en bosque

natural de *Pinus cubensis* Grisib. Hombre ciencia y tecnología. No. 70, ISSN: 1028-0871.

33. FAO. 1986. Terminología del control de incendios en tierras incultas. Estudio FAO Montes No. 70. Roma, 257 p.

34. FAO. 2008b. Proceedings of the Expert consultation to review the FRA 2000 methodology for Regional and Global Forest Change Assessment. 54 p.

35. FAO. 2009. Forest fires and the law. A guide for national drafters based on the fire management voluntary guidelines. Roma. 161 p.

36. Flores, J. 2009a. Ecología del fuego y su impacto en los ecosistemas forestales. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 13- 22.

37. Flores, J. 2009b. Aspectos generales de los incendios forestales. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi – prensa México, S. A. de C. V. pp 3-12.

38. Flores, J. 2009c. Evaluación post–incendio del arbolado en un bosque templado. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México DF. pp 127 - 138.

39. Flores, J. y Benavides, J. 2009a. Quemas controladas como una herramienta alternativa en el manejo forestal integral. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 317- 325.

40. Flores, J. y Benavides, J. 2009b. Efecto del fuego en la regeneración natural de ecosistemas forestales. In. Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 141- 152.

41. Flores, J. y Benavides, J. 2009c. Impacto en el suelo de dos tipos de quemas controladas en un rodal de bosque templado. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 225 - 232.

42. Flores, J. y Cabrera, R. 2009. Alteraciones del paisaje debido a los incendios forestales. Flores, J. In: Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 293-301.

43. Flores, J.; García, O.; Ortega, A.; Rodríguez, O.; Rosas, O. y Meléndez, M. 2007. Manual de captura de datos del muestreo de combustibles forestales. Folleto Técnico Número 2. México. 37 p.

44. Flores, J.; Moreno, D. y Morfín, J. 2010a. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIRPAC, INIFAP. Folleto Técnico Número 4. Tepatitlán, Jalisco, México. 69 p.

45. Flores, J.; Moreno, D. y Morfín, J. 2010a. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIRPAC, INIFAP. Folleto Técnico Número 4. Tepatitlán, Jalisco, México. 69 p.

46. Flores, J.; Xelhuantzi, J. y Chávez, A. 2010b. Evaluación del impacto ambiental de incendios forestales en el Bosque de la Primavera. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Folleto Técnico Número 5. México. 109 p.

47. GEAM, 2006. Programa Nacional Forestal. República de Cuba, hasta el año 2015. MINAG. Dirección Nacional Forestal, La Habana, 87p.

48. Gerwing, J. 2002. Degradation of forest through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. Vol. 157 (1-3): 131-141.

49. Goldammer, J.G. 1982. Controlled burning for stabilizing pine plantations. In: Nao, T. Van. *Forest Fire Prevention and Control*. United Nations Economic Commission for Europe. Poland, pp.199-207.

50. Grodzki, L. 2000. Efectos del fuego sobre la vegetación y variables meteorológicas en una floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) manejada en sistema agroforestal Colombo, PR. 117 p. Tesis presentada como requisito parcial à obtención de grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Curitiba.

51. Guerin, L.A., S. Conveti, G. Ruiz, C. Plassard and D. Mousain. 2003. The ectomycorrhizal symbiosis between *Lactarius deliciosus* and *Pinus sylvestris* in forest soil samples: symbiotic efficiency and development on roots of a rDNA internal transcribe spaces-selected isolate o *L. deliciosus*. *Mycorrhiza* 13: 17-25.

52. Haberle, G. y Ledru, P. 2001. Correlations among charcoal records of fires from the past 16,000 years in Indonesia, Papua New Guinea and Central and South America. *Quaternary Research*. Vol. 55 (1): 97-104.

53. Haltenhoff, D. 1998. Silvicultura preventiva. Santiago de Chile, CONAF. Manual Técnico No. 18. 40 p.

54. Heikkilä, T.; Grönqvist, R. y Jurvélius, M. 2010. Wildland Fire Management. FAO. Roma. 248 p.

55. Hepper, E.; Urioste, A.; Belmonte, V. y Buschiazzo, D. 2008. Temperaturas de quemas y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. *Cl. Suelo (Argentina)* 26 (1): pp 29-34.

56. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D.; Rivero, L.; Camacho, E.; Ruis, J.; Jaimez, E.; Marsán, R.; Obregón, A.; Torres, J.; González, J.; Orellana, R.; Paneque, J.; Ruiz, J.; Mesa, A.; Fuentes, E.; Durán, J.; Peña, J.; Cid, G.; Ponce, D.; Mernán, M.; Frómeta, E.; Fernández, L.; Morales, M.; Suarez, E. y Martínez, E. 1999. Nueva versión de clasificación de suelos de Cuba. Instituto de suelos. Ministerio de la Agricultura, Ciudad de la Habana, Cuba. AGRIFOR. 64 p.

57. Hudson, J. y Salazar, M. 1981. Las quemas prescritas en los pinares de Honduras. Serie miscelánea N°. 1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras. 57 p.

58. Ivanauskas, M.; Monteiro, R. y Rodríguez, R. 2003. Alterations following a fire in a forest community of Alto Rio Xingu. *Forest Ecology and Management* Vol. 184 (1-3): 239-250.

59. Julio, G. 1996. Comportamiento del fuego: Modelos de simulación y su uso en actividades de combate. Memorias de la IV Reunión Técnica Conjunta FUPEF/SIF/IPEF. Curitiba. 118 –129.

60. Jurado, V. 2006. Incendios forestales y voluntariado ambiental. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/revistama/revista_ma35/ma35_9.html. Consultado 21/01/18.

61. Martín, N. 2010. Tabla de interpretación de análisis de suelo. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía. Habana, Cuba. 24 p.

62. Martínez, L. 2006. Uso de quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet en Pinar del Río. 108 h. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saíz Montes de Oca.

63. Martínez, L.; Bonilla, M.; Ramos, M. y De las Heras, J. 2010. Estudio de quemas prescritas en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet y *Pinus caribaea* var. *caribaea* en Pinar del Río, Cuba. Trabajo presentado en VI Simposio Internacional de Manejo Sostenible de los Recursos Forestales, en: Memoria del VI SIMFOR. Pinar de Río. ISBN: 978-759-16-1192-5.

64. Martínez, L.; Ramos, M. y 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.

65. Martínez. 2006. Uso de quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet en Pinar del Río. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 94 p.

66. MINAG. 1984. Manual de interpretación de los índices físicos-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial científico-técnico. Ciudad de La Habana. 136 p.

67. Molina, F. 1993. Efectos del fuego controlado en la velocidad de infiltración del agua en suelos forestales: Un caso de estudio en la costa norte de California. Revista Investigación Agraria. Sistema y recursos forestales. V 2 (2): 173-184.

68. Moreno, A. 2004. Uso de matrices para evaluar la regeneración en pino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Prometeo Editoriales. Guadalajara, Jalisco. México. 18 p.

69. Moreno, E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M &T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España. 84 p.

70. Moreno, E.; Pérez, E.; Durán, F.; María, V. y Rodríguez, Y. (2012).Determinación de material combustible en bosque de *Pinus cubensis* Grisib. Hombre Ciencia y Tecnología. No. 63, ISSN: 1028-0871.

71. Nájera, A. 2000. Curso internacional de protección contra incendios forestales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 24 p.

72. Pérez, E. 2012 Efectos de las quemas prescritas en la regeneración natural de la especie *Pinus cubensis* Griseb. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 103 p.

73. Pérez, E.; Cobas, G.; Lorez, Y. y Tamayo, W. 2009. Diagnóstico de bosques de *Pinus cubensis* Griseb para la aplicación de quemas prescritas. IV Encuentro Internacional por el Desarrollo Forestal Sostenible, Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7139-89-8.

74. Pérez, E.; Martínez, L.; Ramos, M. y Tamayo, W. 2010. Determinación de la influencia de las quemas prescritas en bosques de *Pinus cubensis* Griseb cuando son aplicadas para la restauración ecológica. III Simposio Internacional de Restauración Ecológica. Santa Clara, Cuba. ISBN: 978- 959-250-600-8.

75. Pérez, E.; Martínez, L.; Ramos, M. y Tamayo, W. 2010a. Determinación de la influencia de las quemas prescritas en bosques de *Pinus cubensis* Griseb. Revista Baracoa en el portal de la FAO. ISBN: 2078-7235. Vol. 29 (Número especial 2010).

76. Pérez, E.; Martínez, L.; Ramos, M. y Tamayo, W. 2010c. Influencia de las quemas prescritas en bosques de *Pinus cubensis* Griseb, en: Memoria del VI SIMFOR. Pinar de Río. ISBN: 978-759-16-1192-5.

77. Pérez, E.; Martínez, L.; Ramos, M.; Tamayo, W. y Durán, F. 2012. Influencia de las quemas prescritas en el material combustible en bosques de *Pinus cubensis* Griseb en Guantánamo. Revista Chapingo, Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol. XVIII (1). 14 p.

78. Petrovna, G. 2009. Incendios forestales y salud humana. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 305 - 313.

79. Ramos, M. 2010. Manejo del fuego. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. 230 p.

80. Rodríguez, D. 1996. Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi Prensa. México. 617 p.

81. Rodríguez, D. 2009. El fuego y sus efectos en los árboles. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México, D. F. México. pp 103-119.

82. Rodríguez, D.; Rodríguez, M.; Fernández, F. y Pyne, J. 2000. Propuesta de manejo del fuego. Educación e Incendios Forestales. Mundi Prensa. México, D. F. pp 189-194.

83. Rodríguez, F. y Molina, J. 2010. Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Laboratorio de Defensa Contra Incendios Forestales. España. 90 p.

84. Rojo, G. E., J. Santillán, H. Ramírez, y B. Arteaga. 2001. Propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal en bosques de clima templado de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 7(1): 39-48.

85. Sablón, A.M.1984. Dendrología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 200 pág.

86. Sackett, S.S. 1980. Reducing natural ponderosa pine fuels using prescribed fire: two case studies. Research note, Fort Collins, USDA. ForestService, RM-392, 5 p.

87. Schiliski, A.; Waugh, J.; González, P.; González, M.; Manta, M.; Santoso, H.; Alvarado, E.; Nuruddin, A.; Rodríguez, D.; Swaty, R.; Schmidt, D.; Kaufmann, M.; Myers, R.; Alentar, A.; Kearns, F.; Jonson, D.; Smith, J.; Zollner, D. y Fulks, W. 2007. Fire, ecosystems and people: Trends and strategies for global biodiversity conservation. TNC. GFI Technical Report 2007-02. Arlington, VA. 20 p.

88. SEMARNAP. 1999. Curso Internacional de protección contra incendios forestales. Centro de capacitación del ITMA, México. 500 p.

89. SEMARNAP. 2006. ¿Cómo se realiza una quema prescrita? Disponible en: http://cecadessu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/manual_quema_controlada/manual_quema_controlada.shtml. Consultado 15/04/2018.

90. Smith S.E. Read D.J. (2012) Mycorrhizal symbiosis, 3rd edn. Academic, Amsterdam
Taylor AFS, Alexander I (2005) *The ectomycorrhizal symbiosis: life in the real world.* Mycologist 19:102–112

91. Soares, R.V. 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties\ in the savamanegron of Minas Gerais state, Brazil. Coimbre

Universidade de Coimbra", Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research: C.06-I-9.

92. Soares, V. 1985. Incendios Forestales – controle e uso do fuego. Curitiba: FUPEF. 213 p.

93. Soares, V. 1996. Comportamiento de quemas controladas en plantaciones de *Eucalyptus viminalis*, Memorias de la IV Reunión Técnica Conjunta FUPEF/SIF/IPEF. Curitiba. pp 83 – 90.

94. The Nature Conservancy. 2005. Introducción a quemas prescritas para áreas naturales protegidas. Belice. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. 43 p.

95. Urrutia, H. I. 2012. Quemas prescritas: influencia en el comportamiento de los indicadores hidrológicos en la sub cuenca hidrográfica número uno, asociada al río San Diego, Galalón. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 103 p.

96. Urrutia, I.; Hernández, J.; Rodríguez, B.; Garcías, Y.; Fleitas, Y. y Rodríguez, Y. 2009. Impacto del material combustible en plantaciones de pino. In: Flores, J. Impacto ambiental de incendios forestales. (ed). Mundi Prensa México, S. A. de C. V. pp 121- 125.

97. Urrutia, I.; Rodríguez, B.; Fleitas, I.; Rodríguez, Y.; Hernández, J.; Martínez, L. y Flores, J. 2010. Influencia de quemas prescritas sobre algunos procesos hidrológicos en una de las subcuenca hidrográficas del Río San Diego en Galalón, Pinar del Río, en: Memoria del VI SIMFOR. Pinar de Río. ISBN: 978-759-16-1192-5.

98. Varona, J.C. 1982. Fomento de Plantaciones de pino. 102 pág. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 102 p.

99. Vega, J.; Landsberg, J.; Bara, S.; Paysen, T.; Fontúrbel, T. y Alonso, M. 2000. Efectos del fuego prescrito sobre los suelos de montes de *Pinus pinaster*. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. 14.61- 14.71pp.

100. Vega, J.; Landsberg, J.; Bara, S.; Paysen, T.; Fontúrbel, T. y Alonso, M. 2000. Efectos del fuego prescrito sobre los suelos de montes de *Pinus pinaster*. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. 14.61-14.71pp.
101. Vega, J.; Pérez, P.; Cuñas, P.; Fonturbel, T. y Fernández, C. 2001. Manual de quemas prescritas para matogueras de Galicia. Xunta de Galicia. Consejería de Medio Ambiente. Centro de Información y Tecnología Ambiental. 242 p.
102. Vélez, R. 2000. El fuego en los ecosistemas forestales del mundo. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. pp 2.1 - 2.8.
103. Xelhuantzi. J.; Flores, J. y Chávez, A. 2010. Manual de efectos de primer orden de incendios forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Folleto Técnico Número 8. 66 p.
104. Zaldívar, A.S, Bonilla, M., y Zaldívar A. M (2009) Los pinos cubanos (II parte). Universidad de Pinar del Río, Cuba. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/41091284_Los_pinos_cubanos_II_parte. Acceso el 12 de febrero de 2018