

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO FORESTAL

EFFECTOS DE DOS TÉCNICAS DE QUEMAS PRESCRITAS SOBRE ESPECIES
DE HONGOS ECTOMICORRÍZICOS EN UN BOSQUE NATURAL DE *Pinus*
***cubensis* GRISEB**

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias

Forestales

Francisco Durán Manual

Pinar del Río

2015

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO FORESTAL

EFFECTOS DE DOS TÉCNICAS DE QUEMAS PRESCRITAS SOBRE ESPECIES
DE HONGOS ECTOMICORRÍZICOS EN UN BOSQUE NATURAL DE *Pinus*
***cubensis* GRISEB**

Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias
Forestales

Autor: Ing. Francisco Durán Manual

Tutores: Ing. Luís Wilfredo Martínez Becerra, Dr. C.

Ing. Gretel Geada López, Dra. C.

Co-tutor: Pablo Martín Pinto, Dr. C.

Pinar del Río

2015

AGRADECIMIENTOS

- En especial a mi madrecita que ha entregado lo más hermoso de su vida para convertirme en un joven comprometido con el ejemplo y el sacrificio.
- Mi princesita Camilita por robarle el tiempo durante el desarrollo de este trabajo, a mis hermanas que tanta ayuda y amor me han brindado, a Ginita, Hairito y en especial a Miguel quien además de mi sobrino, es un amigo.
- Mi papá que ha estado pendiente de la evolución de este trabajo.
- Mi abuelita (muñeca) quien desde su rincón me colmó de amor, atenciones y cada cosa que un ser humano puede brindar a otro.
- Mis tutores Dr. C. Luís Wilfredo Martínez Becerra, a la Dra. C. Gretel Geada López y al Dr. C. Pablo Martín Pinto quienes con su ayuda y colaboración hicieron posible la realización de este trabajo.
- Mis profesores y amigos de la Universidad de Pinar del Río, por su ayuda en cada momento que los necesité.
- Mis compañeros de trabajo de la Universidad de Guantánamo, en especial a los del Departamento de Ciencias Forestales, quienes siguieron el curso de este trabajo en cada etapa.
- A los compañeros del Cuerpo de Guardabosques de la provincia de Guantánamo, por las facilidades brindadas para la realización de las quemas y por la atención que han prestado a cada resultado obtenido, en especial, a Pablo.

- Mis dos grandes amigos y hermanos Roilán Riveaux Chivás y Edelmys Pérez Pereda, quienes compartieron cada momento de sacrificio y entrega, siempre en función de esta causa.
- Mi primo Feliberto, quien es un hermano para mí y a Daisy por todo el apoyo y cariño durante estos años de sacrificio.
- A Karel por todo el apoyo brindado en momentos cruciales de este trabajo.
- A José Sánchez por su apoyo.
- En especial, al Dr. C. Agustín Gallegos, Dr. C. Eduardo López Alcocer y Dr. C. Jesús Pérez Moreno, quienes durante mi estancia académica en México, me dieron cada uno en su momento, la clave para incursionar en un mundo tan hermoso como el de las ectomicorrizas.
- A mis profesoras Dra. C. Iluminada, Dra. C. Greisy, Dra. C. Milagros Cobas López y Dra. C. Marta Bonilla Vichot, por todo el apoyo y cariño brindado.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS

El autor.

DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que han dado lo más sano
de sus conocimientos al desarrollo de la humanidad.*

A mi princesita Camila Durán Rodríguez.

A mi Madrecita

*A toda mi familia que con su apoyo me dieron el ánimo necesario para
continuar adelante.*

Síntesis

La investigación se realizó en rodales de un bosque de *P. cubensis* perteneciente a la Unidad Empresarial de Base Silvícola de Yateras, EFI Guantánamo, con el objetivo de evaluar los efectos de dos técnicas de quemas prescritas sobre especies de hongos ectomicorrízicos en un bosque natural de *P. cubensis*. Se establecieron seis parcelas de 20 x 50m, en ellas se aplicó quema a tres en avance y tres en retroceso. Se determinó la cantidad de material combustible antes y después, por el método de la parcela de 1m². El comportamiento del fuego y los efectos de éste sobre la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos, donde para cada técnica de quema se levantaron 4 parcelas rectangulares de 5 X 150m. Los análisis estadísticos se hicieron con el software Canoco. A partir de esos análisis, se obtuvieron 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 165 kcal.m⁻¹.s⁻¹. En cuanto a los efectos de las quemas en las ectomicorrizas, no se encontraron diferencias entre las técnicas utilizadas; a partir de los 15 días empezaron a aflorar carpóforos de las especies de *Suillus sp.* y *Amanita muscaria*, a los 60 días se encontraron todas las especies muestreadas antes de aplicar las quemas (*Boletus sp.*; *Suillus brevipes* (Peck) Kuntze; *Suillus decipiens* (Berk. y M.A. Curtis) Kuntze; *Suillus sp.*; *Amanita muscaria* subsp. americana (Lange) Singer; *Lactarius semisanguifluus* R. Heim y Leclair; *Scleroderma stellatum* Berk) y *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert, que no se encontró antes de las quemas, estos resultados indican que el uso de quemas prescritas no afecta la dinámica de los hongos ectomicorrízicos.

ÍNDICE

CONTENIDOS	Pàg.
I INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Dinámica del fuego en la sucesión de los pinares	5
2.1.1. Plan de quema prescrita	11
2.1.1.1. Técnicas de quemas	13
2. 2. Comportamiento del fuego	14
2.2.1. Parámetros del comportamiento del fuego	15
2.2.2. Factores del comportamiento del fuego	17
2. 3. Caracterización de los pinares de Cuba	21
2.4. Los hongos del suelo	23
2.4.1. La simbiosis con hongos ectomicorrízicos	25
2.4.2. Caracterización de la relación de hongos ectomicorrízicos con plantas forestales	30
2.4.3. Los hongos en el funcionamiento de los ecosistemas forestales	32
2.4.4. Diversidad fúngica y estabilidad de los bosques	33
2.4.5. Comportamiento de las comunidades fúngicas después del fuego	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Localización del área de investigación	38
3.2. Caracterización del área de investigación	38
3.3. Diseño experimental	40

ÍNDICE (Cont.)

3.4. Procedimiento para estimar la carga de material combustible 40

3.5. Evaluación de los parámetros del comportamiento del fuego 43

3.6. Determinación del efecto de dos técnicas de quemas prescritas
sobre algunas propiedades químicas del suelo 44

3.7. Determinación del efecto de dos técnicas de quemas prescritas
sobre la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos 45

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47

4.1. Carga de material combustible 47

4.2. Parámetros del comportamiento del fuego 59

4.2.1. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en avance 63

4.2.2. Comportamiento del fuego en quemas prescritas en retroceso 65

4.3. Efecto de dos técnicas de quemas prescritas en especies de
hongos ectomicorrízicos 69

4.3.1. Relación simbiótica de especies de hongos ectomicorrízicos por
especies arbóreas 69

4.3.2 Análisis de algunas características edáficas. 77

4.3.3. Relación de variables ambientales que influyen en la distribución
de especies de hongos ectomicorrízicos en un bosque de *P. cubensis* 88

CONCLUSIONES 99

RECOMENDACIONES 100

BIBLIOGRAFÍA

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 comunidades de hongos ectomicorrízicos.

El conocimiento de los efectos del fuego en comunidades de hongos ectomicorrízicos, 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.

La relación simbiótica de los hongos ectomicorrízicos con la mayoría de las comunidades forestales es un proceso vital a escala global, ya que las especies vegetales dominantes en bosques de coníferas en regiones alpinas y boreales, en muchos bosques de ecosistemas templados y mediterráneo y en grandes áreas tropicales y subtropicales son especies arbóreas con asociaciones micorrízicas (Smith y Read, 1997).

Los hongos ectomicorrízicos, y en particular, el banco de esporas y otros propágulos resistentes, están implicados también en los procesos de sucesión secundaria que facilitan la regeneración de las comunidades después de una perturbación por el fuego (Buscardo, 2009).

Las quemas prescritas en Cuba han sido aplicadas solo a nivel experimental, ninguna de ellas describe los efectos de las quemas sobre la diversidad de hongos ectomicorrízicos en bosques de *Pinus cubensis*.

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 físico-químicas del suelo y la regeneración natural antes y después de aplicar quemas prescritas (Pérez, 2012).

Problema científico de la investigación:

¿Cuáles son los efectos de dos técnicas de quemas prescritas sobre la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis* de la provincia de Guantánamo?

Objeto de estudio: Diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos.

Hipótesis:

La aplicación de quemas prescritas en avance y retroceso no altera la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.

Objetivo general:

Evaluar los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.

Objetivos específicos:

1. Cuantificar la carga de material combustible en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.
2. Evaluar los parámetros del comportamiento del fuego durante la aplicación de dos técnicas de quema en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.
3. Determinar los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre la comunidad fúngica en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.

Novedad científica:

- La evaluación de los efectos de las quemas prescritas en avance y retroceso sobre diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*.
- Reportes de especies de hongos ectomicorrízicos asociados a *P. cubensis*.

Contribución teórica: La descripción de la dinámica de los hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*, bajo el efecto de dos técnicas de quema en la provincia de Guantánamo.

Contribución práctica: La determinación del tiempo de recuperación de los hongos ectomicorrízicos en rodales de un bosque natural de *P. cubensis*, cuando se aplican quemas prescritas.

II. 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 Vallentine (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 restringida 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, circunscripta 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, hojarasca, 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.

2.1.1.1. 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 tomándose 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, cómo 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. 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* Bisse, 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, Bisse (1988), plantea que el *Pinus cubensis* Griseb. es 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 25⁰c. 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* Bisse, *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).

La presencia del fuego en los pinares es un fenómeno habitual, que tiene una marcada influencia en su desarrollo y permanencia a partir de la reducción de los combustibles, crea las condiciones propicias para la proliferación de la especie, al respecto plantea Ramos (2010), que para la regeneración natural de los pinares, la quema prescrita es un medio óptimo de preparar el área para recibir las semillas, favorecer la germinación y crean las condiciones idóneas para el restablecimiento de las comunidades fúngicas.

2.4. Los hongos del suelo

Conforman los hongos un importante grupo de microorganismos del suelo que constituyen la mayor fracción de la biomasa microbiana. Se pueden encontrar en suelos aireados entre $1-2 \times 10^4$ a 1×10^6 propágulos por gramo de suelo. La distribución de los hongos está determinada por la disponibilidad de sustratos carbonados orgánicos debido al carácter heterótrofo de su nutrición. Son muy eficientes en los procesos de degradación de la materia orgánica del suelo, lo que se denota por las grandes cantidades de CO_2 que se liberan. El rango de pH en que medran es amplio y se encuentran entre 2 y 9, con un óptimo de 5,0 - 5,5.

De acuerdo con Martínez (2011), la clasificación ecológica de los hongos del suelo, está basada en los sustratos, y se desglosa de la siguiente manera:

- Hongos dulces: la mayoría son de crecimiento rápido como los Oomicetos y Zigomicetos.
- Hongos celulolíticos: tienen gran habilidad para descomponer la celulosa. Entre ellos se encuentran los Ascomicetos y Basidiomicetos.
- Hongos lignícolas: entre los que se encuentran fundamentalmente los Basidiomicetos.
- Hongos humícolas: que se desarrollan fundamentalmente sobre la materia orgánica humificada.
- Hongos de micorriza (ectomicorrizas y endomicorrizas): establecen relaciones mutualistas con las raíces de plantas superiores.
- Hongos parásitos del suelo: representados por una gran cantidad de individuos de las clases Oomicetos, Ascomicetos, Deuteromicetos y Basidiomicetos.
- Hongos coprófilos: que se desarrollan sobre el estiércol y en su mayoría son fototróficos.
- Hongos predadores: se caracterizan por atacar a nemátodos y amebas.
- Hongos hipógeos: forman sus estructuras esporíferas dentro de la masa del suelo.

2.4.1. La simbiosis con hongos ectomicorrízicos

La simbiosis es una relación entre dos organismos vivos en la cual ambos obtienen beneficios. Los hongos simbiotes se dividen en liquenizados y micorrízicos. Los primeros, que no se tendrán en cuenta, forman asociaciones simbióticas con algas y se comportan como unidades estructurales y funcionales independientes.

Los hongos micorrízicos establecen asociaciones simbióticas con las plantas, formando micorrizas, término empleado por primera vez por Frank (1885), para definir la asociación de mutuo beneficio entre las hifas de un hongo y las raíces de una planta. La asociación simbiótica de plantas forestales con hongos ectomicorrízicos (ECM) es una característica importante del género *Pinus*, que ocurre naturalmente aún en suelos de alta fertilidad, donde aparentemente no es necesaria su presencia (León y Suárez, 1998), citado por (Zaldívar *et al.*, 2008).

Según lo planteado por Buscardo *et al.* (2009), las asociaciones mutualistas ectomicorrízicas entre hongos y plantas superiores son un componente esencial de la mayoría de las comunidades vegetales y desempeñan un papel fundamental en los ciclos de nutrientes y en el funcionamiento de los ecosistemas.

Esta asociación ha resultado de gran importancia en los ecosistemas forestales, debido al papel que desempeñan en su mantenimiento (Jennings *et al.*, 2012).

La evolución de las micorrizas ha tenido un fuerte impacto en los ecosistemas

terrestres. Registros fósiles de hace 400 millones de años apuntan a que las micorrizas facilitaron la colonización del medio terrestre por las plantas (Malloch *et al.*, 1980).

Dentro de las especies de hongos ectomicorrízicos, se incluyen todas las especies pertenecientes a importantes familias de Basidiomycetes dentro de las que se incluyen: Amanitaceae, Russulaceae, Paxillaceae, Boletaceae, Strobilomycetaceae, las cuales parecen haber evolucionado como microbiontes.

Algunas especies, como *Pisolithus tintorius* (Pers.) Coorcker, tiene la habilidad de formar simbiosis ectomicorrízica con una gran cantidad de plantas, incluyendo especies vegetales de diferentes familias. En contraste, otras especies fúngicas se asocian con un restringido número de especies vegetales que integran un género o una familia, por ejemplo, *Suillus* coloniza y forma simbiosis restringida con la familia Pinaceae (Molina *et al.*, 1992).

La simbiosis con hongos ectomicorrízicos proporciona a los fitobiontes mayor captación de agua, fitohormonas e incrementa la longevidad de las raíces y protección contra patógenos (Smith y Read, 2008). Además, esta estrecha relación entre simbiosiontes origina, frecuentemente, una dependencia de las plantas asociadas, lo que provoca que la ectomicorríza usualmente sea una relación obligada. Para géneros completos de árboles como *Abies*, *Betula*, *Pinus*, *Picea*, *Fagus* y *Quercus*, que cubren extensas áreas del planeta, no podrían sobrevivir en condiciones naturales en ausencia de la simbiosis ectomicorrízica (Miyer, 1973; Smith y Read, 2008; Pérez, 2010).

Una micorriza es la asociación simbiótica entre un hongo y las raíces de una planta, asociación que es esencial para uno o los dos simbioses implicados y cuya función primaria es el intercambio de nutrientes, agua y azúcares (Smith y Read, 1997).

La presencia de micorrizas es casi universal en las comunidades terrestres. Tanto es así que, algunos autores proponen que las raíces evolucionaron en las primeras plantas primitivas para acomodar estos hongos, en esta asociación se forman estructuras donde existe un contacto íntimo entre el hongo y la planta como resultado de un programa de desarrollo sincronizado entre ambos simbioses (Brundrett, 2009).

La micorriza se puede considerar como una extensión de la raíz y como el componente más activo de los órganos vegetales de absorción de nutrientes. Además, el micelio extra radical puede conectar a varias plantas, incluso de distintas especies, formando una importante red subterránea de transporte entre diferentes plantas de la comunidad vegetal, que ayuda a minimizar las pérdidas de nutrientes del ecosistema (Simard *et al.*, 2002).

Las ectomicorrizas en particular, mejoran la absorción vegetal de nutrientes inorgánicos, permiten el uso de nutrientes orgánicos y pueden proteger a la planta frente a altas concentraciones de metales pesados y frente a patógenos (Cayuela *et al.*, 2006).

El beneficio que obtienen los hongos simbioses se basa en la protección física ofrecida por la raíz y en la translocación de compuestos carbonados de la

planta al hongo. De hecho, una fracción relevante de los asimilados fotosintéticos, que puede llegar hasta el 30% en el caso de plántulas, es transferida a los hongos ectomicorrízicos. En la actualidad existen unas 6000 especies descritas, pertenecientes a los fila Basidiomycota y Ascomycota (Martínez *et al.*, 2011).

La mayoría de hongos ectomicorrízicos tienen una baja especificidad simbiótica lo que permite que individuos de diferentes especies vegetales compartan los mismos simbiontes fúngicos (Martínez *et al.*, 2011).

La estructura y diversidad de las comunidades vegetales y de hongos ectomicorrízicos son afectadas por variables climáticas y edáficas y también son interdependientes, de forma que los cambios en una de ellas se reflejan en la otra, y viceversa. Rivera *et al.*, (2010), sugirieron la existencia de una relación positiva entre la diversidad de especies vegetales y de hongos ectomicorrízicos y demostrando que el 40% de la variación de la diversidad fúngica podía ser explicada por la diversidad de la comunidad vegetal asociada.

Por otro lado, la dispersión y el crecimiento de plantas ectomicorrízicas en comunidades dominadas por especies no ectomicorrízicas, puede estar limitada por la baja densidad de hongos ectomicorrízicos existentes en dichos ecosistemas, ya que el establecimiento de plántulas de especies ectomicorrízicas está facilitado por los árboles adultos que sirven de fuente de inóculo para esas plántulas (Dickie *et al.*, 2005).

Diferentes especies de hongos ectomicorrízicos, muestran preferencias por distintas condiciones edáficas relacionadas con la humedad, profundidad, presencia de hojarasca y naturaleza del sustrato (Stendell *et al.*, 1999).

Asimismo, la diversidad y composición de las comunidades fúngicas están determinadas por interacciones entre el grado de perturbación del sistema, el potencial de colonización de los hongos ectomicorrízicos implicados y la competencia y partición de recursos (Greenpeace, 2006).

Como para cualquier grupo de organismos, las interacciones entre especies fúngicas micorrízicas pueden ser negativas o positivas. La coexistencia de varias especies de hongos ectomicorrízicos puede ocurrir como consecuencia de complementación fisiológica o de interacciones parasíticas, mientras que la exclusión se debe a procesos de competencia interespecífica, que generalmente incluyen la producción de sustancias inhibitorias (Koide *et al.*, 2011).

El resultado de estas interacciones resulta en una alta diversidad y variabilidad, espacio temporal dentro de las comunidades ectomicorrízicas (Horton y Bruns, 2001). Pérez *et al.* (2010), señalan que la producción de ácidos orgánicos, como por ejemplo el ácido oxálico, carbónico, cítrico y acético, por la actividad del micelio externo de los hongos ectomicorrízicos, influye en gran medida en la acidificación de los suelos forestales.

Así mismo, Hoffland *et al.* (2004), reportaron la participación de los ácidos orgánicos liberados por el micelio de hongos ectomicorrízicos, como fuente

potencial de la intemperización de los minerales del suelo y acidificación del mismo.

2.4.2. Caracterización de la relación de hongos ectomicorrízicos con plantas forestales

Los hongos constituyen un reino independiente del animal y vegetal formado por millares de especies. Se conocen más de 80.000 especies, aunque probablemente existan muchas más, pues una gran parte aún no están descritas. Son organismos cosmopolitas, aparecen prácticamente en cualquier sitio y se alimentan de lo más insospechado.

Las evidencias fósiles ponen de manifiesto que los hongos han estado presentes en nuestro planeta desde hace al menos, 600 millones de años e incluso antes. Su tamaño varía desde los hongos microscópicos unicelulares hasta formar algunos de los organismos más grandes que existen (Martínez *et al.*, 2011).

Según Pedneault *et al.* (2008), son seres eucariotas (presentan núcleos verdaderos), normalmente plurinucleados que se reproducen por medio de esporas. Son heterótrofos y se alimentan generalmente por absorción, liberando al exterior sus enzimas digestivas y absorbiendo después los productos de la digestión. Los hongos no necesitan luz para crecer, no poseen pigmentos fotosintéticos, pero en muchos casos, esta es necesaria para que se puedan formar sus cuerpos fructíferos.

El talo o cuerpo vegetativo de los hongos suele ser típicamente filamentoso, formado por hifas microscópicas, cuyo conjunto recibe el nombre de micelio. Las hifas pueden estar divididas por tabiques (septadas) o carecer de ellos (cenocíticas). Estas hifas están recubiertas de una pared celular compuesta fundamentalmente por quitina, aunque ciertos grupos presentan celulosa u otros polisacáridos (Martínez *et al.*, 2011).

La seta o carpóforo es la parte reproductora o cuerpo fructífero de un hongo. Se forma como resultado del crecimiento diferenciado y del entrelazamiento de las hifas, unido a su rápida expansión debida a la absorción de agua. Su finalidad es producir y diseminar esporas, cuya germinación permitirá al hongo asegurar su supervivencia a largo plazo.

Los hongos también se reproducen asexualmente. La reproducción asexual, aunque no proporciona variabilidad genética, es mucho más rápida y es la más habitual en los hongos, aunque frecuentemente se alternan ciclos sexuales y asexuales (Mayett *et al.*, 2012).

Los hongos son organismos cuya actividad resulta esencial en el funcionamiento de todos los ecosistemas. Así, son los causantes, junto con las bacterias, de la descomposición de toda la materia orgánica. Sin olvidar que los hongos micorrízicos establecen asociaciones con las raíces vegetales, muchas veces imprescindibles para la supervivencia de las plantas en ecosistemas naturales (Martínez *et al.*, 2011).

2.4.3. Los hongos en el funcionamiento de los ecosistemas forestales

Los diferentes tipos de micorrizas se dividen en dos grandes grupos: ectomicorrizas y endomicorrizas. En las ectomicorrizas, las hifas de los hongos recubren las paredes de las células de la raíz de los vegetales sin penetrar en su interior, mientras que en las endomicorrizas, las hifas invaden el interior de las células de la raíz (Martínez *et al.*, 2011).

Según Smith *et al.* (2012), se estima que entre el 85% y el 95% de las especies de plantas vasculares, forman micorrizas. Sin embargo, sólo del 3 al 5% de dichas plantas establecen asociaciones de tipo ectomicorrízico, aunque su importancia en el mundo forestal es enorme, pues se trata de árboles y arbustos pertenecientes a las familias *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Betulaceae* y *Salicaceae*, entre otras. Por otra parte, los hongos formadores de ectomicorrizas se encuentran principalmente entre las divisiones Basidiomycota (*Amanita* sp., *Boletus* sp., *Lactarius* sp., *Hebeloma* sp., entre otros.) y Ascomycota (*Tuber* sp., *Terfezia* sp., entre otros.), e incluyen muchas de las especies más comunes en los bosques cubanos.

Las ectomicorrizas pueden reconocerse por la presencia de una cubierta de hifas llamada manto que envuelve a la raíz. El micelio penetra intercelularmente en el córtex radical para formar un entramado de hifas que recibe el nombre de red de Hartig (Martínez *et al.*, 2011).

Es en esta zona donde se produce el intercambio de nutrientes y agua entre el hongo y la planta. Los hongos ectomicorrízicos favorecen principalmente la

captación de fósforo y nitrógeno. Las hifas del hongo absorben el agua y los nutrientes del suelo, transportándolos al manto donde se metabolizan y almacenan. Posteriormente, el sistema de hifas de la red de Hartig transfiere estos nutrientes a la planta hospedante a cambio de carbohidratos generados en la fotosíntesis (Peay *et al.*, 2011).

2.4.4. Diversidad fúngica y estabilidad de los bosques

Los hongos constituyen un grupo biótico muy importante en los ecosistemas forestales, tanto desde el punto de vista de riqueza específica como en el aspecto funcional. Sin embargo, aún hoy se desconoce cuál es la magnitud del mismo, incluso en lugares donde se ha hecho un gran esfuerzo por inventariar la diversidad fúngica, solamente se puede llegar a hacer estimaciones sobre su importancia funcional (Smith *et al.*, 2012).

Según Smith *et al.* (2012), los trabajos de diversidad fúngica se basan fundamentalmente en la identificación de las setas que fructifican en un determinado ecosistema. La aplicación de técnicas moleculares ha aportado nuevos datos sobre el reconocimiento de los hongos.

Estudios recientes muestran la posibilidad de identificar directamente el micelio en el suelo (Buée *et al.*, 2009), aunque la aplicación de estas técnicas no es viable para el estudio global de toda la comunidad fúngica. Las setas presentan una estacionalidad marcada y se desarrollan en períodos concretos del año. Estos carpóforos, a su vez, son estructuras efímeras que tienen un periodo de vida limitado, días, incluso horas. La presencia de carpóforos confirma la

existencia de una determinada especie, pero por el contrario, su ausencia no asegura que dicha especie no se encuentre en dicho ecosistema.

Por otra parte, el desarrollo de carpóforos depende de muchos factores, como la propia fisiología y estado del hongo, de las condiciones climatológicas, entre otros. La diversidad puede medirse de diferentes formas, se puede atender a la diversidad biológica considerando el número de especies, pero también puede medirse la diversidad funcional, ya que los hongos tienen un importante papel en el funcionamiento de los ecosistemas (Buscardo *et al.*, 2009).

La estabilidad y la resistencia de un ecosistema ante cualquier tipo de perturbación aumentan manteniendo una alta diversidad fúngica. Las diferentes especies de hongos realizan un gran número de funciones ecológicas que mejoran la capacidad de recuperación de los ecosistemas. Es por lo tanto, importante mantener una alta diversidad de hábitats para favorecer el crecimiento y reproducción de las especies (Simard *et al.*, 2002).

2.4.5. Comportamiento de las comunidades fúngicas después del fuego

Los hongos después del fuego tienen muchas funciones potenciales, ya sea con importancia positiva o negativa a la estabilización de los suelos, la restauración del hábitat, la recuperación de las plantas o el reemplazo de muertos dañados. Descomponen la materia orgánica, incluyendo leñosa, escombros (Egger, 1986), incorporando así en el suelo, liberando nutrientes ligados orgánicamente, mejorando de este modo la aireación y agua infiltrada (Tisdale y Oades, 1982; Hallett, 2007).

Los pinos requieren asociación con micorrizas y la presencia de propágulos fúngicos ectomicorrízicos activos en un suelo después de un incendio, esto es crucial para la supervivencia y la regeneración posterior de las plántulas (Dahlberg *et al.*, 2001).

En consecuencia, los hongos son una parte integral de la función de bosque, en particular por su papel esencial en el agua y la adquisición de nutrientes por los árboles (Smith y Read, 1997).

A pesar de su importante papel en los ecosistemas forestales, mucho está por descubrirse acerca de la respuesta de las comunidades de hongos ectomicorrízicos al fuego (Bastias *et al.*, 2006).

Las comunidades de hongos pre-incendios son erradicadas en gran medida por los incendios (Vázquez *et al.*, 1993). Posteriormente, la sucesión de hongos después de un incendio se inicia por el primer evento de lluvia significativa que sigue a una perturbación (Vázquez, 2011).

Las especies de hongos se desarrollan primero en ausencia de esporas producidas típicamente durante la temporada temprana post-incendio. Su origen es usualmente el banco de esporas en el suelo que se ha acumulado con el tiempo del fuego anterior (Claridge *et al.*, 2009).

Las comunidades fúngicas en las primeras etapas y las etapas tardías de la sucesión suelen ser similares, no sólo debido a la similitud en la especie

huésped, sino también, a la capacidad de resistencia, al fuego de las comunidades de hongos (Visser., 1995 y Claridge *et al.*, 2009).

De acuerdo con Vázquez (2011), los rodales de pino que crecen en un sitio previamente sin árboles, corresponden a una sucesión primaria y los hongos ectomicorrízicos, a la etapa tardía, que se corresponden a condiciones estables de bosques maduros, teniendo en cuenta que la estabilidad de la sucesión de las diferentes formaciones vegetales dependen en gran medida de la relación simbiótica que se establece entre las plantas superiores y las ectomicorrizas.

Este concepto de sucesión puede ser aplicado al desarrollo de hongos en las masas que han regenerado después de perturbaciones naturales tales como incendios forestales (Danielson, 1984 y Visser, 1995). La sucesión secundaria que comienza después del fuego depende de múltiples factores como la composición inicial de especies de plantas, la intensidad del fuego, la disponibilidad del banco de semillas y la capacidad de las comunidades microbianas del suelo para recuperarse (Rodrigo *et al.*, 2004 y Hart *et al.*, 2005).

Por lo tanto, los hongos juegan un papel fundamental en la recuperación de las comunidades vegetales siguientes a los incendios, a través de la estabilización del suelo y la restauración de la microflora de este (Claridge *et al.*, 2009).

Varios estudios han reportado cambios en la composición de comunidades de hongos micorrízicos asociadas a las diferentes etapas de la sucesión forestal post-incendio, como Gassibe *et al.*, (2011), en *P. pinaster* localizado en España,

Kipfer *et al.*, (2010), informaron un cambio en la composición de especies ectomicorrizas asociadas a las raíces de *P. sylvestris*, debido a la calefacción del suelo.

Mah *et al.* (2001), concluyeron que han sido reportadas comunidades de hongos micorrízicos en bosques de pino en Canadá, que después de los incendios forestales se produce un cambio en relación a la abundancia de cada especie y no un cambio en la composición de las especies ectomicorrízicas.

III. 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 8 rodal 21. 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. Las quemadas se aplicaron el 19 de agosto del 2011.



Figura 1. Localización del área de investigación

Fuente: Base Cartográfica Digital GeoCuba
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, para la caracterización se tomaron 11 años como referencia (Figura 2), donde la temperatura máxima absoluta es de 29,8°C y la mínima absoluta es de 17,2°C.

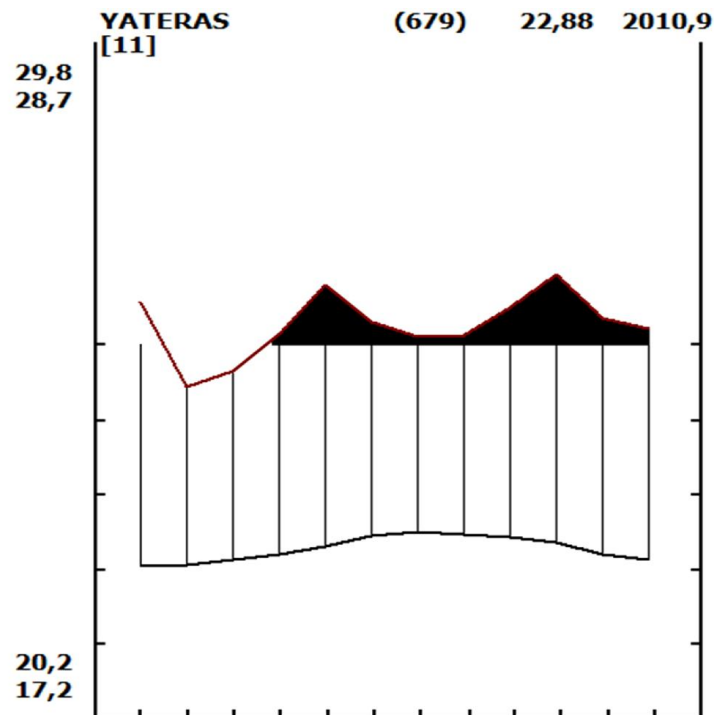


Figura 2. Climograma del área del experimento. Estación meteorológica Yateras. Guantánamo. (Período 2000 – 2011)

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* Bisse, *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 *P. teridium* 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 y efectos del fuego sobre diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos. 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. 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, en el caso del estudio de diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos en las quemas, se realizó en 4 parcelas rectangulares de 5 X 150 m en avance y 4 en retroceso.

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) y Durán (2014b), 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. Evaluación 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 0,033m.s⁻¹,

media cuando está entre 0,033 y 0,166m.s⁻¹, alta entre 0,166 y 1,166m.s⁻¹ y extrema, cuando es mayor de 1,166m. s⁻¹.

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

Para la evaluación de los efectos del fuego sobre algunas propiedades químicas del suelo, se analizaron los valores de pH, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, Na⁺P₂O₅ 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 000m², 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) y Durán (2014a).

Se evaluó el magnesio (Mg²⁺) y el calcio (Ca²⁺) por el método complexométrico, el porcentaje de materia orgánica (% MO) por el método de Tiurin, el sodio (Na⁺), fósforo (P₂O₅) por el método de Oniani que se utiliza para suelos ácidos y el potasio (K⁺) por el método de fotometría de llama y el pH por el método potenciométrico.

3.7. Determinación del efecto de dos técnicas de quemas prescritas sobre la diversidad de especies de hongos ectomicorrízicos

Se recolectaron todos los carpóforos de hongos ectomicorrízicos encontrados dentro de las parcelas rectangulares de 5 X 150m, un día antes de la aplicación de las quemas y 15 días posteriores al día de las quemas, efectuándose 9 muestreos con un intervalo de recogida de muestras de 15 días.

Se tuvo en cuenta la metodología para inventario de recurso micológico usada por Martínez *et al.* (2011), en la que recomienda la utilización de parcelas de tamaño rectangular de 5m de anchura y hasta 400m de longitud, siempre por encima de los 100m cuadrados.

Bonet *et al.* (2004), recomienda que en cada fecha de muestreo, los hongos se tomen completamente con el vástago para facilitar su identificación, además, los cuerpos fructíferos se almacenen en el laboratorio a 4⁰c y se procesen 24 horas después de la recolección. De cada especie se anotó el número de carpóforos recogidos.

El carácter ectomicorrízico de los hongos colectados se basó en la clasificación de Molina *et al.*, (1992), identificándose a nivel de especie de acuerdo con las siguientes claves: Arrillaga *et al.*, (2000), Knudsen y Vesterholt (2008), Antonin y Noordeloos (2010).

Con este análisis se pudo entender la manera en que diversas especies responden simultáneamente a factores externos como las variables

ambientales, se obtuvo un diagrama de ordenamiento formado por un sistema de ejes, para reducir la influencia de valores extremos en los resultados de la ordenación antes de los correspondientes análisis de distribución. Las variables utilizadas fueron transformadas logarítmicamente (ln).

Se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para la ordenación de las muestras, especies y relación entre variables ambientales (MO, Mg^{2+} , K^+ ; Ca^{2+} , Na^+ , P_2O_5 y pH), para determinar la asociación de las variables ambientales con la distribución y abundancia de especies de hongos ectomicorrízicos por parcelas. Para este análisis se utilizó el software CANOCO para Windows, Versión 4.5 (Ter Braak y Smilauer, 2002).

IV.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 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), y Durán *et al.*,(2014a), (2014b), quienes al evaluar al material combustible para aplicar quemas prescritas experimentales, concluyeron que la mayor cantidad de combustible corresponde a las misceláneas.

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 avance, con una cobertura del 100%.

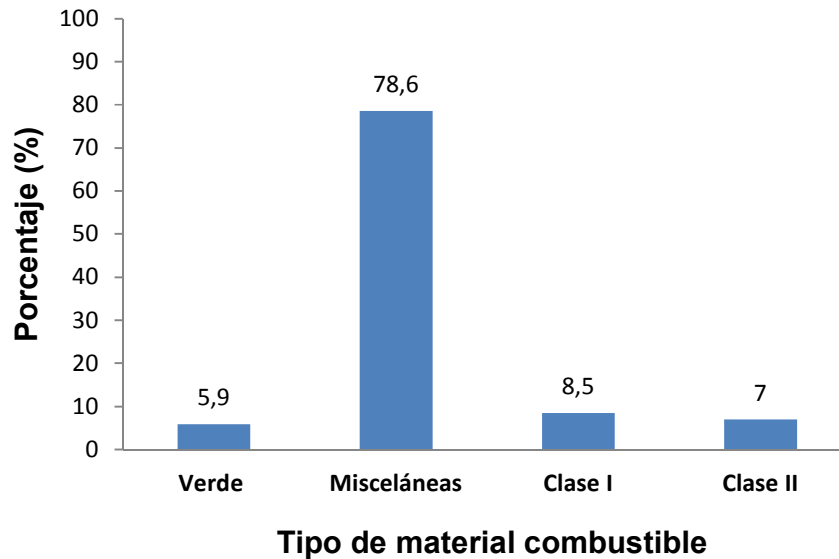


Figura 3. Porcentaje de material combustible por tipo antes del fuego en avance

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 *P. 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 4 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%.

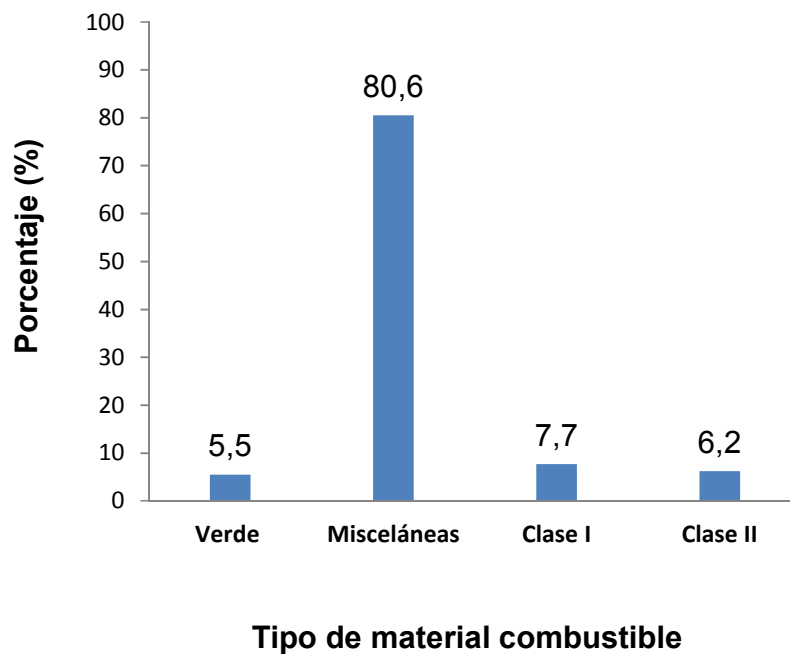


Figura 4. Porcentaje de material combustible por tipo antes del fuego en retroceso

Debe existir un mínimo de $1,235t.ha^{-1}$ 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 3 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 disponibles 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 5 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 5. 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 6).

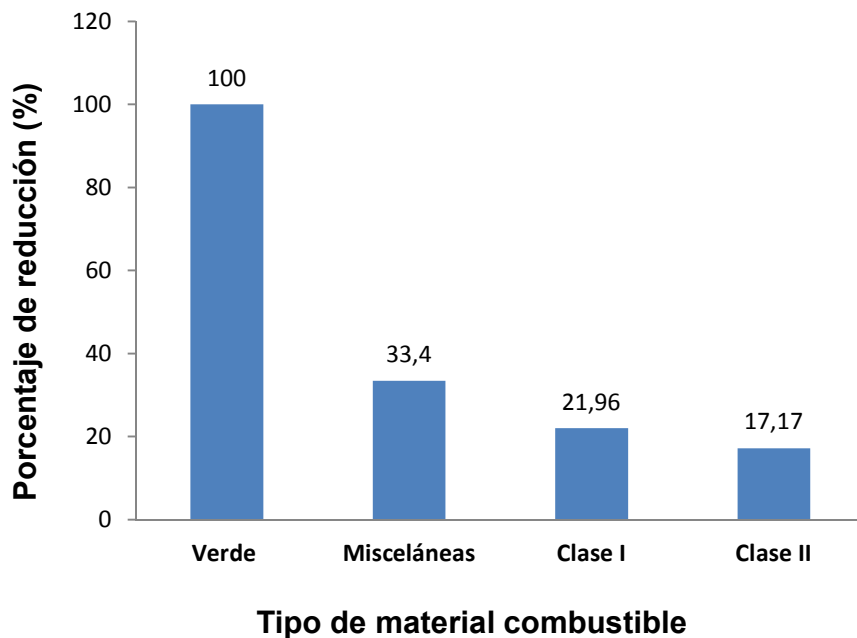


Figura 6. Porcentaje de reducción de los materiales combustibles después del fuego en avance

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 7), en un 51,9% la clase I y un 65,4% la clase II.

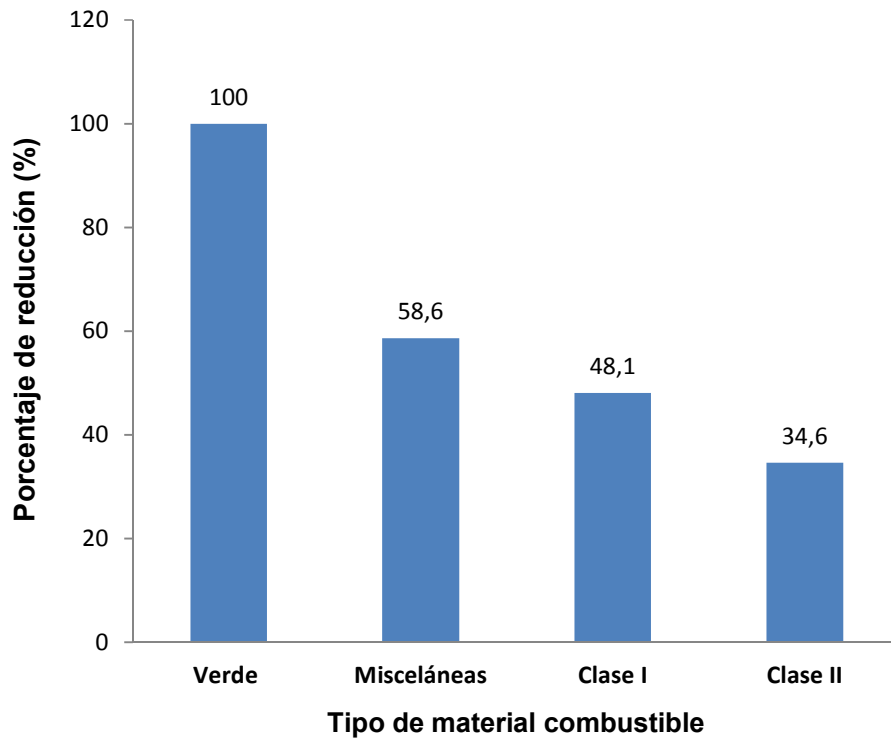


Figura 7. Porcentaje de reducción de los materiales combustibles después del fuego en retroceso.

Ramos (2010), informó que un bosque de pino con una acumulación de material combustible entre 200 - 1 500t.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, aparejado a esto, al quedar descubierto el suelo crean las condiciones favorables para la proliferación de los corpóforos de las diferentes

especies de hongos ectomicorrízicos que establecen simbiosis con el *P. cubensis*.

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 (g.m^{-2})	Misceláneas (g.m^{-2})	Clase I (g.m^{-2})	Clase II (g.m^{-2})	Total
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 $28,24\text{t.ha}^{-1}$, 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.

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

Tiempo	Verde (g.m⁻²)	Misceláneas (g.m⁻²)	Clase I (g.m⁻²)	Clase II (g.m⁻²)	Total
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≤0,05 y E.E= error estándar calculado.

Se puede observar el material combustible después de las quemas (Figura 8).



Figura 8. Material combustible un día después de las quemas

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 2 182,81g.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.

El mantillo, al estar compuesto por una gran capa de acículas, hojas, ramillas, y otros materiales en descomposición, donde al ocurrir las precipitaciones retiene el agua en esta capa que llega hasta el suelo mineral, y al aplicar quemas prescritas de intensidad media. 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 de las quemas

	Fuego en avance		Fuego en retroceso	
	antes	después	antes	después
Parcela 1	8,7	3,4	Parcela 4	2,7
Parcela 2	12,6	2,4	Parcela 5	1,8
Parcela 3	13,2	2,9	Parcela 6	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 caribaea*, 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 del fuego donde se aplicó quema prescrita en retroceso, con una reducción promedio de 81,06%.

Tanto en la quema en avance como en retroceso, la reducción 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 informo un 30% de reducción del mantillo en plantaciones de *Pinus taeda* L. y 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 (Figura9), los cuales permanecieron en el área de investigación durante y después de las quemas para garantizar el cumplimiento de los objetivos planificados, dando inicio a las 13:00 horas y finalizando a las 17:30 horas del día 19 de agosto del 2011.



Figura 9. Brigada contra incendios del circuito número 13 del cuerpo de guardabosques de Guantánamo, el día de las quemas

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.*, 2014a, 2014b).

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.

Una de las características relativas del rodal a quema 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 10 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 10.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, oscilando 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 kcalm⁻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 elliotii*, 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 elliotii* en el sur de los EUA. Según este autor, existen dos niveles: el límite de óptima variación que estaría entre 17 y 60 kcal.m⁻¹.s⁻¹ y el máximo de intensidad de quema que no debe superar las 165 kcal.m⁻¹.s⁻¹, por lo tanto, los valores de esta investigación se encuentran en estos rangos.

La Figura 11 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.*, (2009a), al señalar que en las quemas en avance los fuegos se mueven cuesta arriba o a favor del viento, viajan muy rápidamente y son específicamente calientes.



Figura 11. 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 es de 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⁻¹ como 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 $0,007\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y alturas de llamas de $0,60\text{m}$. 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 $0,30\text{ m/min}$ con alturas de llamas que oscilaron desde $0,25\text{m}$ a $3,5\text{m}$.

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

Martínez (2006), realizó experimentos con quemas prescritas en condiciones similares y obtuvo variación en la intensidad del fuego desde $128,4\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$, hasta $1340,4\text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ 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 $3,32\text{ kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, hasta $36,33\text{ kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, en bosques mixtos de coníferas.

Burrows *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 $144\text{ kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; mientras que Batista (1995), logró intensidades de fuego para plantaciones de *Pinus taeda* entre $2,88$ y $25,22\text{ kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 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 12 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.



Figura 12. Momento de aplicación de las quemas prescritas en retroceso.

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.

4.3. Efecto de dos técnicas de quemas prescritas en especies de hongos ectomicorrízicos

4.3.1. Relación simbiótica de especies de hongos ectomicorrízicos por especies arbóreas

Se colectaron un total de 8 especies fúngicas cerca de algún tipo de especie arbórea, los ejemplares de *Boletus sp.*, se encontraron en su totalidad cerca de especies de *P. cubensis* y *Persea americana*, sin embargo, en todos los momentos de muestreo se encontró a 653 msnm, denotando el género *Boletus* cierto grado de preferencia por las coníferas (Smith *et al.*, 2012).

Existen reportes de *Boletus sp.* en localidades de Pinar del Río, asociados con *Pinus tropicalis*; *Quercus oleoides* var. *sagraeana*. y de Guantánamo en el municipio de Baracoa, asociado con *P. cubensis* (Camino *et al.*, 2006).

La especie de *Suillus brevipes* se colectó cerca de *P. cubensis* y *Nectandra coreacea* SW. Su distribución osciló entre 637 y 663 msnm. Camino *et al.* (2006), existen reportes en la provincia de Guantánamo, específicamente en la localidad de Yateras, asociados a bosques de *P. cubensis*.

El *Suillus decipiens* (Berk. & M.A. Curtis) Kuntze, se encontró asociada a *Pinus cubensis*, *Allophylus cominia* (L.) JW, *Nectandra membranacea* SW. y *Cupania*

americana L, distribuida entre 628 y 660 msnm. En Cuba existen reportes en la provincia de Guantánamo en la localidad de Yateras (Camino *et al.*, 2006).

Suillus decipiens, muestra preferencia por mayor número de especies forestales, al igual que *Suillus sp* la que se encontró cerca de especies de *P. cubensis*, *Guarea guara* Jasg. P. Wils, *Zanthoxylum martinicense* Lam y *Persea americana* Brit, distribuida entre 652 y 671msnm.

Existen 8 registros de esta especie distribuidos en localidades de las provincias Camagüey, Guantánamo, Holguín, Isla de la Juventud y Pinar del Río, asociados a especies de *Hypomyces chrysospermus*; *Pinus caribaea* y *Sepedonium chrysospermus* (Camino *et al.*, 2006). Aunque en los reportes no aparece asociación con *P. cubensis*, en la mayoría de los casos fue una de las especies encontradas con mayor frecuencia en asociación con pinos.

Sin embargo, en estudios realizados en bosques templados en México por Pérez *et al.*, (2010), el género *Suillus* solo se asociaba con las especies de *Pinus teocote*, *P. leiophylla*, *P. ayacahuite* y *P. montesuma*, por lo que denota preferencia por el género *Pinus*.

En el caso de la *Amanita muscaria* subsp. *americana* (Lange) Singer, se pudo observar en asociación con especies de *Pinus cubensis*, *Allophylus cominia* (L.) JW y *Rapanea ferruginea*, a pesar de encontrarla solo entre 669 y 674 msnm, es la especie con mayor número de individuos en cada uno de los muestreos.

En Cuba, hay dos registros en localidades de Yateras en la provincia de Guantánamo, asociada en ambos casos a *P. cubensis*, de acuerdo a lo

planteado por (Camino *et al.*, 2006). *Lactarius semisanguifluus* R. Heim y Leclair se encontró asociado a especies de *P. cubensis*, con una distribución entre los 632 y 659 msnm.

En Cuba solo existe un registro en la provincia de Guantánamo en Yateras; Montecristo (N20° W75°, alt. 750-850 msnm). El *Scleroderma stellatum* Berk. y el *Lactarius semisanguifluus* solo se encontraron cerca del *P. cubensis* en la totalidad de los casos, con un área muy pequeña de dispersión entre 643 y 666 msnm, de ella existen tres reportes en La Habana y las localidades de Maisí y San Antonio del Sur de la provincia de Guantánamo (Camino *et al.*, 2006).

Por su parte, Camino *et al.* (2006), en el caso del *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert en los muestreos efectuados antes de aplicar las quemas no se encontró ningún individuo de esta especie, lo que no quiere decir que no estuviera, ya que según lo planteado por Arija *et al.*, (2013) las esporas de *Pisolitus arhizus* presentan gran viabilidad y resistencia, incluso tras un incendio ya que estas subsisten en el suelo haciendo posible la formación de ectomicorrizas en los pinos jóvenes pos fuego.

Inmediatamente después de la quema, los carpóforos disminuyeron en un 100 % debido a la deshidratación por el calor del fuego, sin embargo, entre los 30 y 45 días posteriores se encontraron individuos de esta especie y a su vez asociados con la mayor cantidad de plantas superiores (*P. cubensis*, *Persea americana* Brit., *Nectandra membranacea* SW., *Psidium guajava* L. y *Allophylus cominia* (L.) JW., con una distribución entre 600 y 679 msnm. Por otra parte,

Camino *et al.* (2006), informa que hay catorce registros en Cuba distribuidos en localidades de la Ciudad de La Habana, Pinar del Río y Holguín.

En los resultados de la Tabla 8 se muestra la asociación de especies de hongos ectomicorrízicos por especies de arbóreas y altitud del microhabitat edáfico.

Tabla 8. Tipo de vegetación y altitud de microhabitat donde crecen los hongos ectomicorrízicos

Especies hongos	Especies	Altitud
	arbóreas	(msnm)
<i>Boletus sp</i>	Pc, Pa	653
<i>Suillus brevipes</i> (Peck) Kuntze	Pc, Nc	637-663
<i>Suillus decipiens</i> (Berk. & M.A. Curtis) Kuntze	Pc, Ca, Ac, Nm	628-660
<i>Suillus sp.</i>	Pc, Zm, Pa, Gg	652-671
<i>Amanita muscaria</i> subsp. americana (Lange) Singer	Pc, Ac, Rf	669-674
<i>Lactarius semisanguifluus</i> R. Heim y Leclair	Pc	632-659
<i>Scleroderma stellatum</i> Berk.	Pc	643-666
<i>Pisolithus arhizus</i> (Scop.) Rauschert	Pc, Nm, Pg, Ac, Pa	630-679

Leyenda: Pc = *Pinus cubensis*; Zm = *Zanthoxylum martiricense* Lam.; Pa = *Persea americana*.; Gg = *Guarea guara* Jasg. P. Wils.; Ca = *Cupania americana* L.; Ac = *Allophylus cominia* (L.) JW.; Rf = *Rapanea ferruginea* (Ruiz y Pav.); Pg = *Psidium guaja* vaL.; Nc = *Nectandra coreacea* SW. Griseb.; Nm = *Nectandra membranacea* SW.

En la Figura 13, se observa el comportamiento de especies de hongos ectomicorrízicos donde se aplicó quemas prescritas en avance, indicándose que en el inventario micológico efectuado antes de las quemas se muestrearon las especies *Boletus sp*, *Suillus brevipes*, *Suillus decipiens*, *Suillus sp.*, *Amanita muscaria*, *Lactarius semisanguifluus* y *Scleroderma stellatum*. En el muestreo realizado a los 15 días posteriores, no se encontraron carpóforos, pero ya a los 30 días aparecieron individuos de *Suillus decipiens*, *Lactarius semisanguifluus*, *Boletus sp* y *Pisolithus arhizus*, esta última no se encontró en el muestreo antes de las quemas. Ya entre los 105 y los 120 días habían alcanzado los valores iniciales en cuanto a número de especies e incluso, en algunos casos, como el *Suillus decipiens*, *Suillus sp.*, *Amanita muscaria*, *Lactarius semisanguifluus* y *Pisolithus arhizus*, superaron estas cifras en cuanto al número de individuos de cada especie.

El *Pisolithus arhizus* es una especie muy resistente a condiciones de sitios perturbados por el fuego (Perry *et al.*, 1989), ya que sus esporas pueden permanecer en estado de latencia durante mucho tiempo y dar signos de presencia de la especie luego de una perturbación por fuego.

Tanto en el método en avance como en retroceso, las especies de hongos ectomicorrízicos se comportaron de manera similar en cuanto a la fluctuación del número de individuos, pasados los 15 días posteriores a la quema, lo cual parece estabilizarse después de los 135 días.

Por su parte, Pritchett (1986), informa que la influencia del fuego produce una disminución considerable en las especies de hongos ectomicorrízicos, seguido de un rápido incremento, durante los siguientes dos meses a partir de la quema. La rápida proliferación de carpóforos estuvo dada a que coincidió con un período de lluvias intensas, los días posteriores a la aplicación de las quemas. En cuestión, Claridge *et al.* (2009), refieren que después de un incendio forestal, las comunidades de hongos pre-incendios son erradicadas en gran medida y la sucesión secundaria comienza con la primera lluvia significativa.

Durán (2014b), al aplicar quemas prescritas en avance en *P. cubensis* encontró que las poblaciones fúngicas disminuyeron inmediatamente luego de la perturbación, pero ya entre los 30 y 45 días posteriores se encontraron especies de hongos ectomicorrízicos llegando a alcanzar los valores iniciales entre los 90 y 120 días posteriores a las quemas.

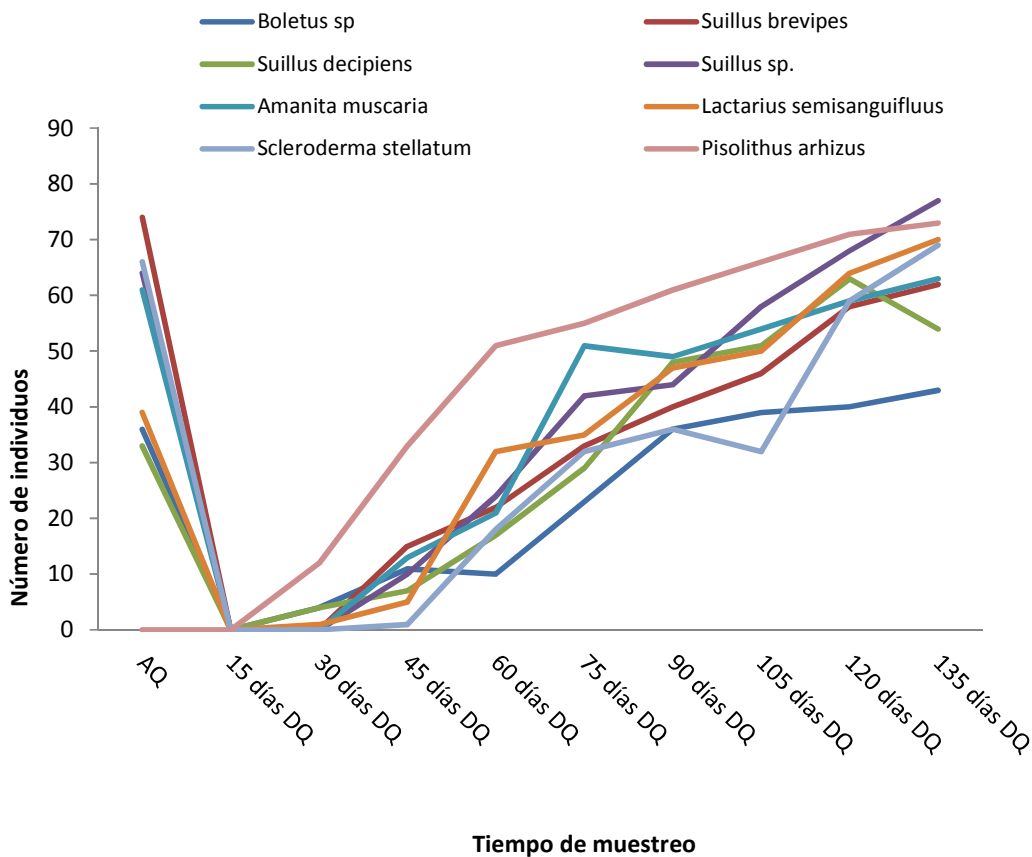


Figura 13. Comportamiento de especies de hongos ectomicorrízicos donde se aplicó quemas prescritas en avance

La Figura 14 muestra el comportamiento de especies de hongos ectomicorrízicos en las parcelas donde se aplicó quemas prescritas en retroceso, en el muestreo realizado antes de las quemas se encontraron carpóforos de las especies *Boletus sp*, *Suillus brevipes*, *Suillus decipiens*, *Suillus sp.*, *Amanita muscaria*, *Lactarius semisanguifluus* y *Scleroderma stellatum*.

A diferencia del método de quema en avance, en este ya a los 15 días posteriores se encontraron carpóforos de *Suillus sp.* y *Amanita muscaria*, entre

los 30 y 45 días con acepción del *Scleroderma stellatum*, todas las especies aumentan gradualmente hasta alcanzar y sobrepasar los valores iniciales.

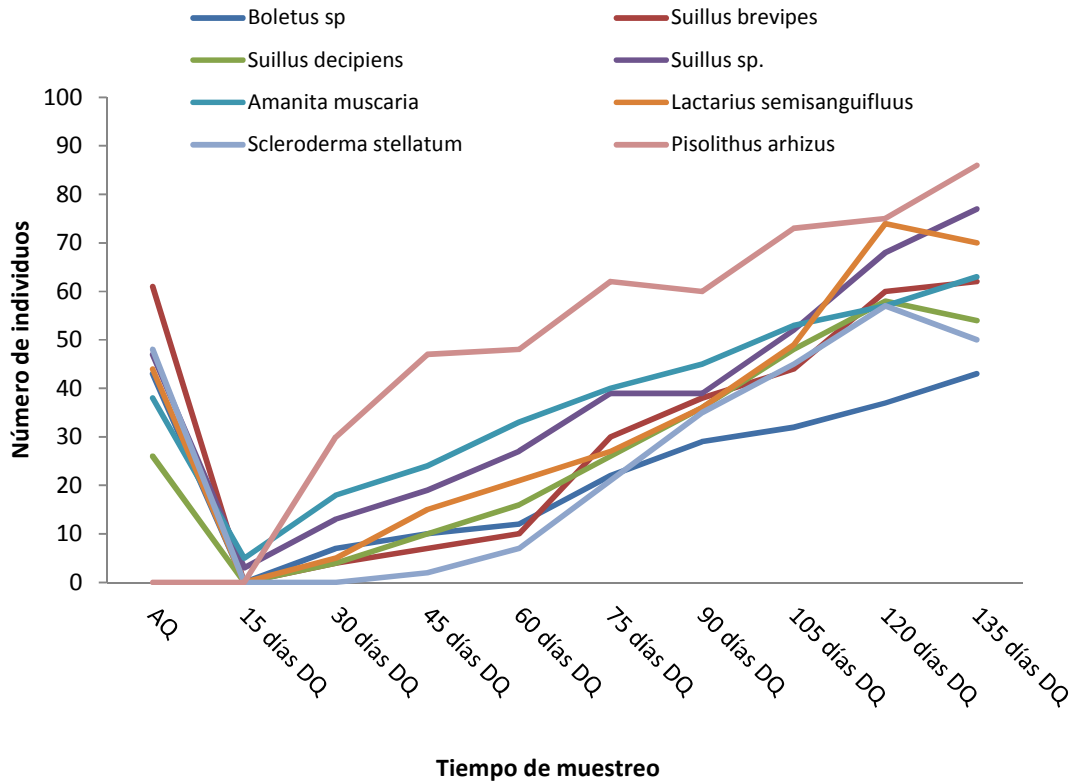


Figura 14. Comportamiento de especies de hongos ectomicorrízicos donde se aplicó quemas prescritas en retroceso

Last *et al.* (1981), manifiesta que luego de un fuego, la producción de *Amanita muscaria* (L.: Fr.) Hook está muy condicionada por la precipitación mensual en cuanto al comienzo de la fructificación de otros macromicetes, algunos estudios observan que comienza dos o tres semanas después de la llegada de las lluvias.

Frankland (1998), señala que es evidente la pronta recuperación de las comunidades fúngicas en los dos casos luego de la aplicación de los fuegos

prescritos. Estudios recientes corroboran estos resultados, la sucesión de hongos se ha estudiado previamente (Savoie y Largeteau, 2011).

Sin embargo, la mayoría de los estudios recientes se centran sólo en las especies que crecen en relación ectomicorrízicas con árboles forestales. Kipfer *et al.* (2011), estudiaron la sucesión de los hongos ectomicorrízicos silvestres en *Pinus* después de los incendios, y encontraron una rápida capacidad de recuperación en términos de número de especies, pero no en las composiciones de las especies.

En este orden, en España Rincón y Pueyo (2010), observaron que las plántulas con colonización de micorrizas incrementaron significativamente después de un incendio en *P. pinaster* asociada a una comunidad fúngica. Kipfer *et al.*, (2011), encontraron una capacidad de recuperación rápida en cuanto al número de especies de hongos en áreas quemadas de *P. sylvestris*, localizado en Alpes central.

4.3.2 Comportamiento de algunas 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 15).

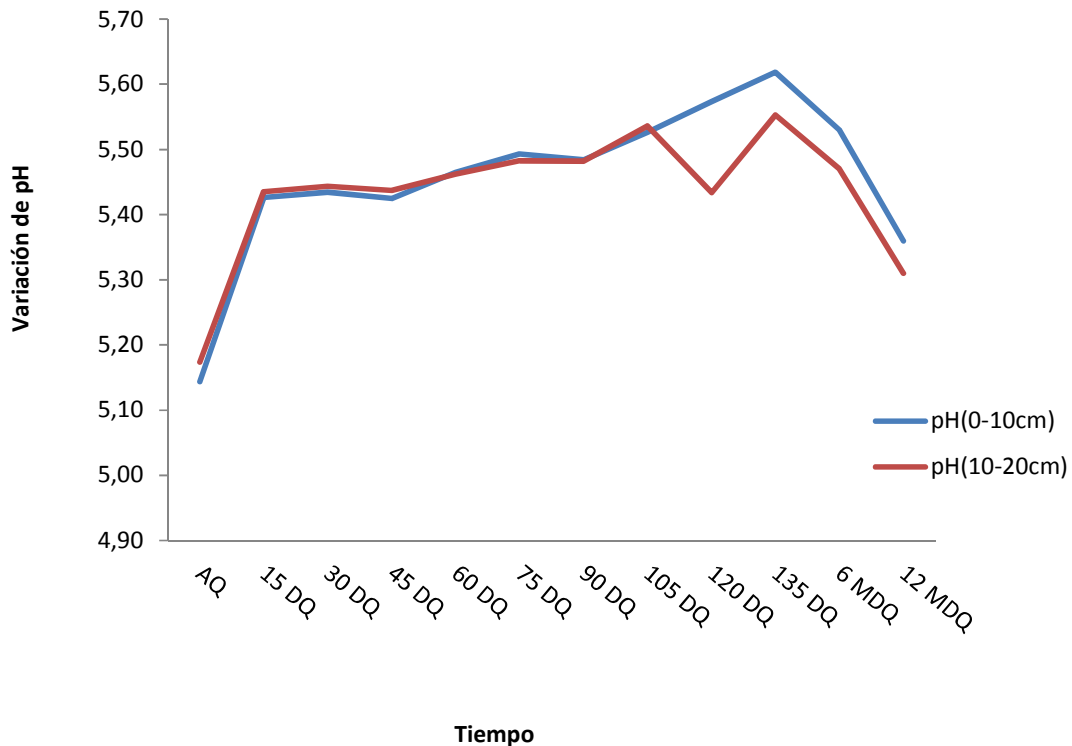


Figura 15. Variación del pH de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en retroceso

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 16).

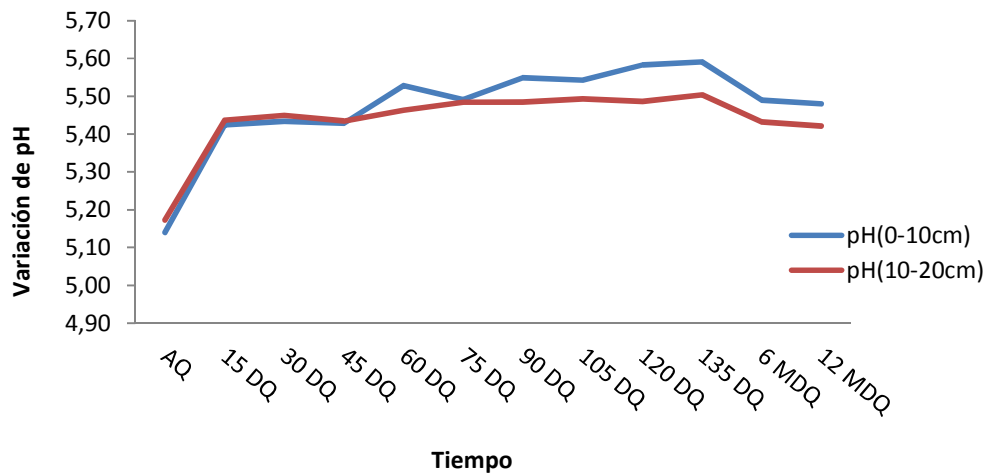


Figura 16. Variación del pH de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en avance.

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).

El género *Lactarius* 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.

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.

Pérez (2012) y Durán (2014b) 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. taeda* y en *P. caribaea*.

Flores *et al.* (2010b) 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 17 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.

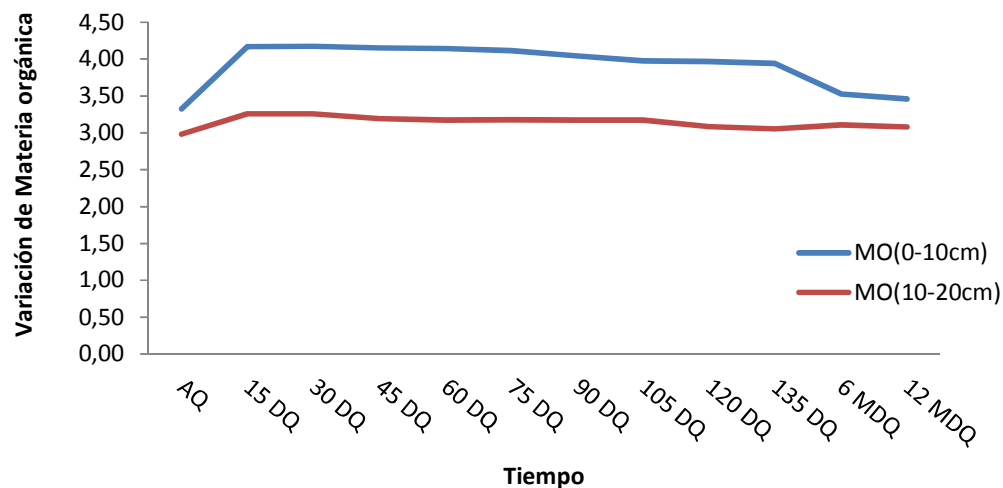


Figura17. Variación del MO de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en retroceso.

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 18).

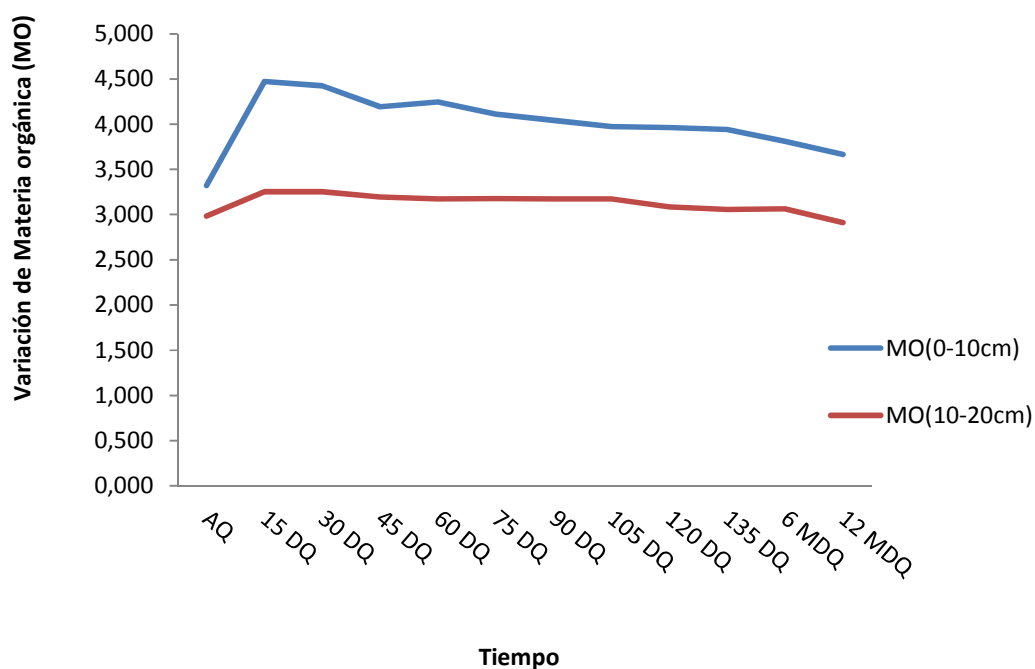


Figura18. Variación del MO de (0-10 y 10-20cm) de profundidad cuando se aplica quema prescrita en avance.

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

Flores (2009c), encontró un ligero incremento después de aplicar quemas prescritas. Flores *et al.* (2010b), 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.

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.

La Figura 19 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 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 Mg^{2+} .

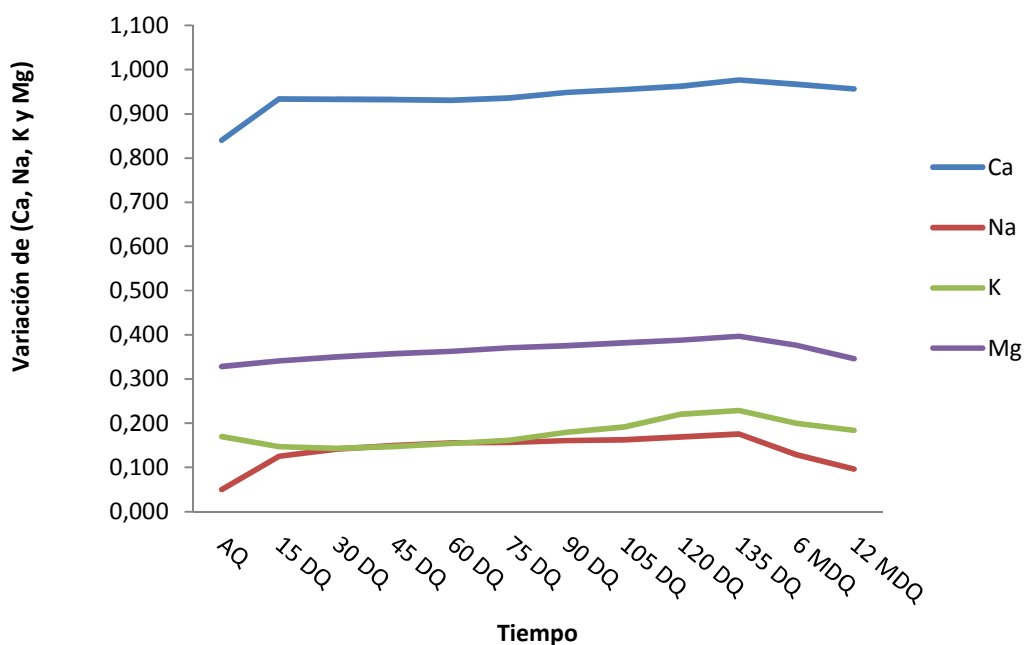


Figura19. Variación del Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y Mg^{2+} donde se aplicó quema prescrita en retroceso.

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

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 20 se observa el contenido de sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺) 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.

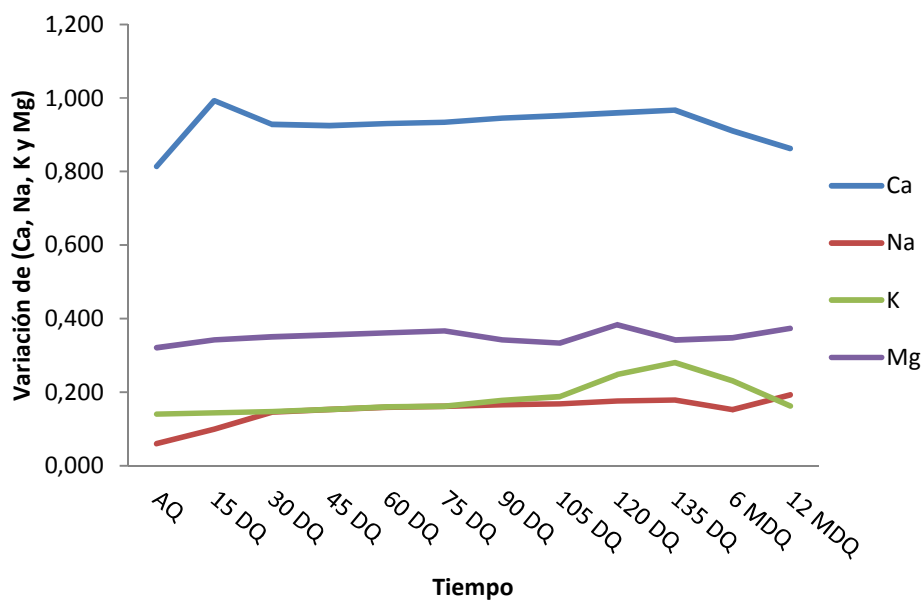


Figura 20. Variación del Ca, Na, K y Mg donde se aplicó quema prescrita en avance

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

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; disminuyendo hasta 0,34 a los 135 días con valores muy cercanos 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 *et al.*, 2012).

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 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.

4.3.3 Relación de variables ambientales que influyen en la distribución de especies de hongos ectomicorrízicos en un bosque de *P. cubensis*

En los resultados del análisis de correspondencia canónico (ACC) al aplicar quemas prescritas en avance: Los primeros cuatro ejes (Tabla 9), ofrecieron una buena solución a la ordenación de las variables ambientales y de las especies de hongos ectomicorrízicos, pues de la variabilidad total presente en los datos de abundancia de las especies (inercia total = 0.285) fue posible explicar el 96,0% de la relación especie – variables ambientales y el 46,7% de la varianza acumulada de especies mediante el conjunto de dichos ejes, lo que indica un gradiente fuerte, para datos ecológicos el valor de inercia es típicamente bajo (< 10%), especialmente cuando se presentan gradientes fuertes (Ter Braak, 1995).

Tabla 9. Resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las abundancias de las especies, donde se aplicó quemas prescritas en avance

Ejes	1	2	3	4
Autovalores	0.076	0.034	0.015	0.008
Correlaciones especies-ambiente	0.838	0.754	0.667	0.562
Porcentaje de varianza acumulada	26.8	38.6	43.7	46.7
Relación de las especies-ambientales	55.0	79.2	89.9	96.0

En la quema en avance, se puede observar que la prueba de significación del primer eje canónico mostró que este fue estadísticamente significativo, el autovalor = 0.059; F = 6.362; P= 0.0080, también para los demás ejes canónicos mostró que fue estadísticamente significativo (autovalor = 0.110; F = 1.973; P= 0.0040).

Para las quemas prescritas en avance (Tabla 10); el análisis de (ACC) mostró que las variables ambientales: materia orgánica de 0-10cm de profundidad (MO1), materia orgánica de 10-20cm de profundidad (MO2) con mayores valores seguido del pH de 10-20cm de profundidad (pH2), se correlacionaron con el eje 1, además del fósforo asimilable (P_2O_5), que a pesar de tener su mayor valor en este eje tiene muy poca variación por el efecto de la quema, con el eje 2 se correlacionan el sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y el pH de 0-10cm de profundidad (pH1) y con el eje 4 y en menor proporción, el magnesio (Mg^{2+}) y el potasio (K^+), ya que sus valores son inferiores a 0,50. De acuerdo Ter Braak

(1995), las variables ambientales se correlacionan con los ejes cuando su valor es ($> 0,50$).

Tabla 10. Correlación variables ambientales donde se aplicó quemas prescritas en avance

Conjunto de correlaciones de variables ambientales con ejes				
NOMBRE	Eje1	Eje2	Eje3	Eje4
PH2	-0.4749	-0.4367	-0.1560	-0.1781
MO1	-0.6770	-0.3866	-0.0039	-0.0985
MO2	-0.6448	-0.2528	0.1053	0.0626
Na	-0.4496	-0.4766	-0.1321	-0.2765
Ca	-0.4396	-0.4749	-0.1413	-0.2544
PH1	-0.3576	-0.4666	-0.1805	-0.2957
Mg	-0.3457	-0.2979	-0.1798	-0.3963
P₂O₅	-0.2218	-0.1901	-0.0096	-0.1549
K	0.0624	-0.3379	-0.1467	-0.3937

Los análisis donde se aplicaron quemas prescritas en avance revelan que existe efecto de las variables ambientales, siendo las de mayor influencia la materia orgánica de 0-10cm de profundidad, pH de 10-20cm de profundidad, materia orgánica de 10-20cmde profundidad con mayores valores seguido del sodio, calcio y el pH de 0-10cm de profundidad.

El extremo negativo del eje 1 (ACC1) describe un aumento de la materia orgánica de 0-10 cm de profundidad (MO1) y la materia orgánica de 10-20cm

de profundidad (MO2), el extremo negativo del eje 2 (ACC2) se corresponde a aumentos de sodio (Na^+), calcio (Ca), pH de 10-20cm de profundidad (pH2), pH de 0-10cm de profundidad (pH1), potasio (K^+), en menor proporción el magnesio (Mg^{2+}) y el fósforo asimilable (P_2O_5).

Las especies de *Pisolithus arhizus* y *Amanita muscaria* se ordena describiendo fundamentalmente patrones de aumentos de materia orgánica de 10-20cm de profundidad (MO2), materia orgánica de 0-10cm de profundidad (MO1), mientras que las variaciones en la distribución espacial del sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), pH de 10-20cm de profundidad (pH2), pH de 0-10cm de profundidad (pH1), el magnesio (Mg^{2+}) y el fósforo asimilable (P_2O_5) ocasionada por el efecto de la quema en avance no influye en la ordenación de las especies de hongos ectomicorrízicos.

La distribución del *Suillus decipiens* tiene relación con los aumentos de potasio, sin embargo, la ordenación de las especies *Scleroderma stellatum*, *Suillus brevipes*, *Suillus sp*, *Lactarius semisanguifluus* y *Boletus sp*, no depende de la variación de ninguna de las variables ambientales al distribuirse en los ejes el extremo positivo del eje 1 y 2, lo que indica que al aplicar este método de quema con intensidad media, las variaciones de algunas características del suelo no influye en la distribución espacial de estas especies de hongos ectomicorrízicos (Figura 21).

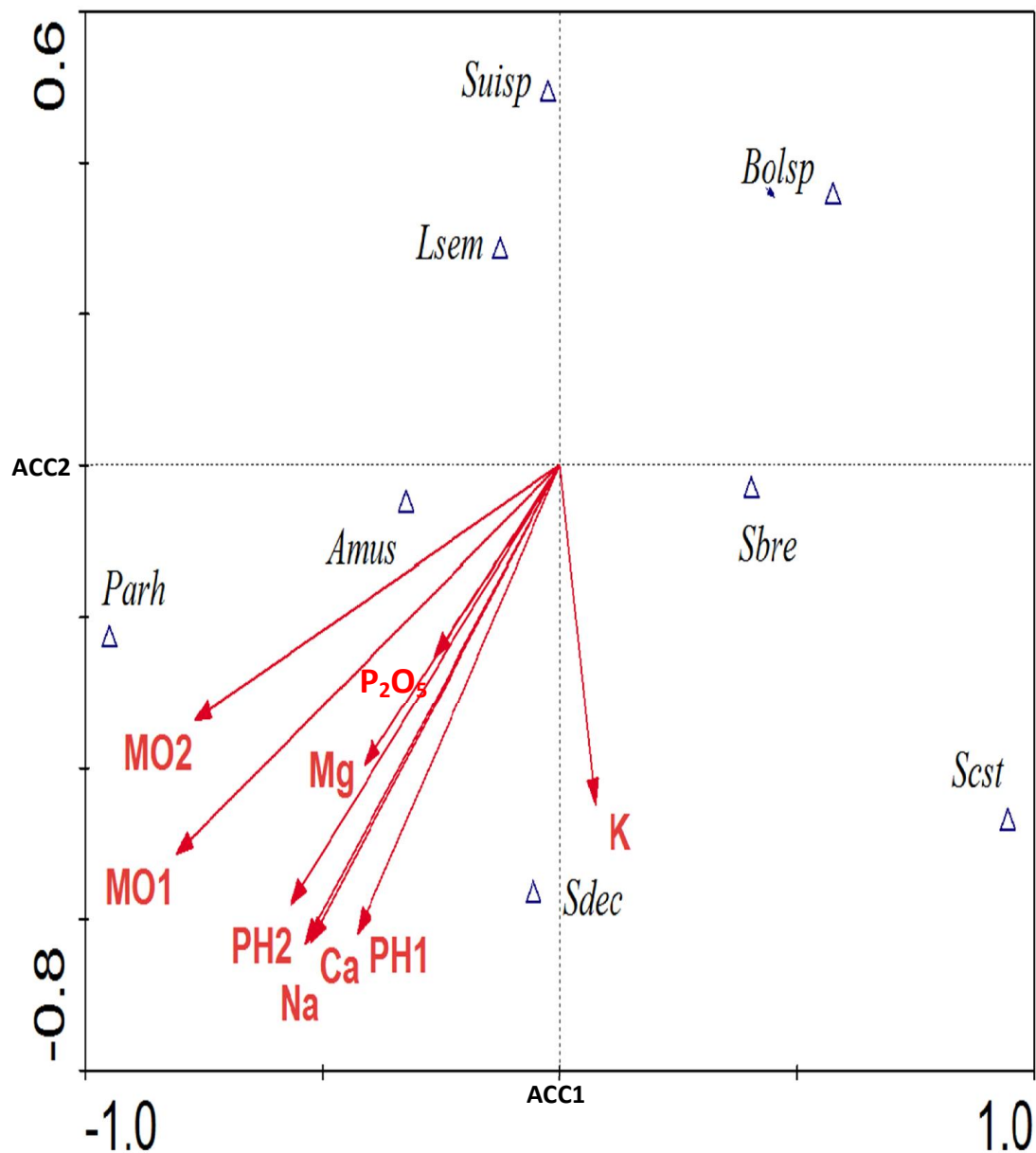


Figura 21. Proyección espacial de variables ambientales y especies de hongos ectomicorrízicos del análisis de correspondencia canónica donde se aplicó quemas prescritas en avance

Leyenda: (**pH1**-pH de 0-10cm de profundidad); (**pH2**-pH de 10-20cm de profundidad); (**MO1**-Materia orgánica de 0-10cm de profundidad); (**MO2**-Materia

orgánica de 10-20cm de profundidad); (**Na**- Sodio); (**Ca**-Calcio), (**Mg**-Magnesio), (P_2O_5 - fósforo asimilable) y (**K** – Potasio).Las especies son diamantes y las variables ambientales son flechas.

Código de Especies: (*Bol sp*-*Boletus sp*); (*S bre* – *Suillus brevipes*); (*S dec*-*Suillus decipiens*); (*Sui sp* – *Suillus sp.*); (*A mus*-*Amanita muscaria*); (*L sem*-*Lactarius semisanguifluus*); (*Sc st* – *Scleroderma stellatum*); (*P arh* –*Pisolithus arhizus*).

La Tabla 11 muestra los resultados del análisis de correspondencia canónico (ACC) al aplicar quemas prescritas en retroceso. Los cuatro ejes ofrecieron una buena solución a la ordenación de las variables ambientales y de las especies de hongos ectomicorrízicos, la variabilidad total presente en los datos de abundancia de las especies (inercia total = 0.252) fue posible explicar el 96.3% de la relación especie – variables ambientales y el 51,8% de la varianza acumulada de especies mediante el conjunto de dichos ejes, lo que indica un gradiente fuerte.

Tabla 11. Resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC) de las abundancias de las especies, donde se aplicó quemas prescritas en retroceso

Ejes	1	2	3	4
Autovalores	0.098	0.013	0.013	0.006
Correlaciones especies-ambiente	0.941	0.687	0.749	0.492
Porcentaje de varianza acumulada	39.1	44.4	49.5	51.8
Relación de las especies-ambientales	72.6	82.5	92.0	96.3

En la prueba de significación del primer eje canónico mostró que éste fue estadísticamente significativo, autovalor = 0.086; $F = 12.268$; $P = 0.0020$, donde se aplicó quema en retroceso, también para los demás ejes canónicos fue estadísticamente significativo (autovalor = 0.111; $F = 2.437$; $P = 0.0040$).

En la correlación de las variables ambientales con los ejes, donde se aplicó quemas prescritas en retroceso (Tabla 12), la materia orgánica de 0-10cm de profundidad, materia orgánica de 10-20cm de profundidad, el pH de 10-20cm de profundidad, el sodio, el calcio y el potasio tienen una mayor correlación con el eje 1, con el eje 3 se correlaciona pH de 0-10cm de profundidad, el fósforo asimilable y el magnesio, con los ejes 2 y 4 no se correlaciona ninguna de las variables ambientales.

Tabla 12. Correlación variables ambientales donde se aplicó quemas prescritas en retroceso

Conjunto de correlaciones de variables ambientales con ejes				
NOMBRE	Eje1	Eje2	Eje3	Eje4
MO1	-0.8051	0.2021	-0.1925	-0.0284
MO2	-0.7968	0.0309	0.0303	0.0933
PH2	-0.5334	0.2875	-0.3408	-0.0124
Na	-0.5181	0.3054	-0.3880	-0.0571
Ca	-0.4192	0.3571	-0.3787	-0.0643
PH1	-0.4025	0.3708	-0.4055	-0.1090
P2O5	-0.2226	-0.2796	-0.4255	-0.0252
Mg	-0.1766	0.3497	-0.4115	-0.1654
K	0.4666	0.4308	-0.3104	-0.1374

La Figura 22 muestra los análisis donde se aplicaron quemas prescritas en retroceso, revelan que existen efectos de las variables ambientales siendo las de mayor influencia la materia orgánica de 0-10cm de profundidad (MO1), materia orgánica de 10-20cm de profundidad (MO2) y el potasio (K) con los mayores valores seguido del sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺), pH de 10-20cm de profundidad (pH2), pH de 0-10cm de profundidad (pH1) y en menor proporción el magnesio (Mg²⁺).

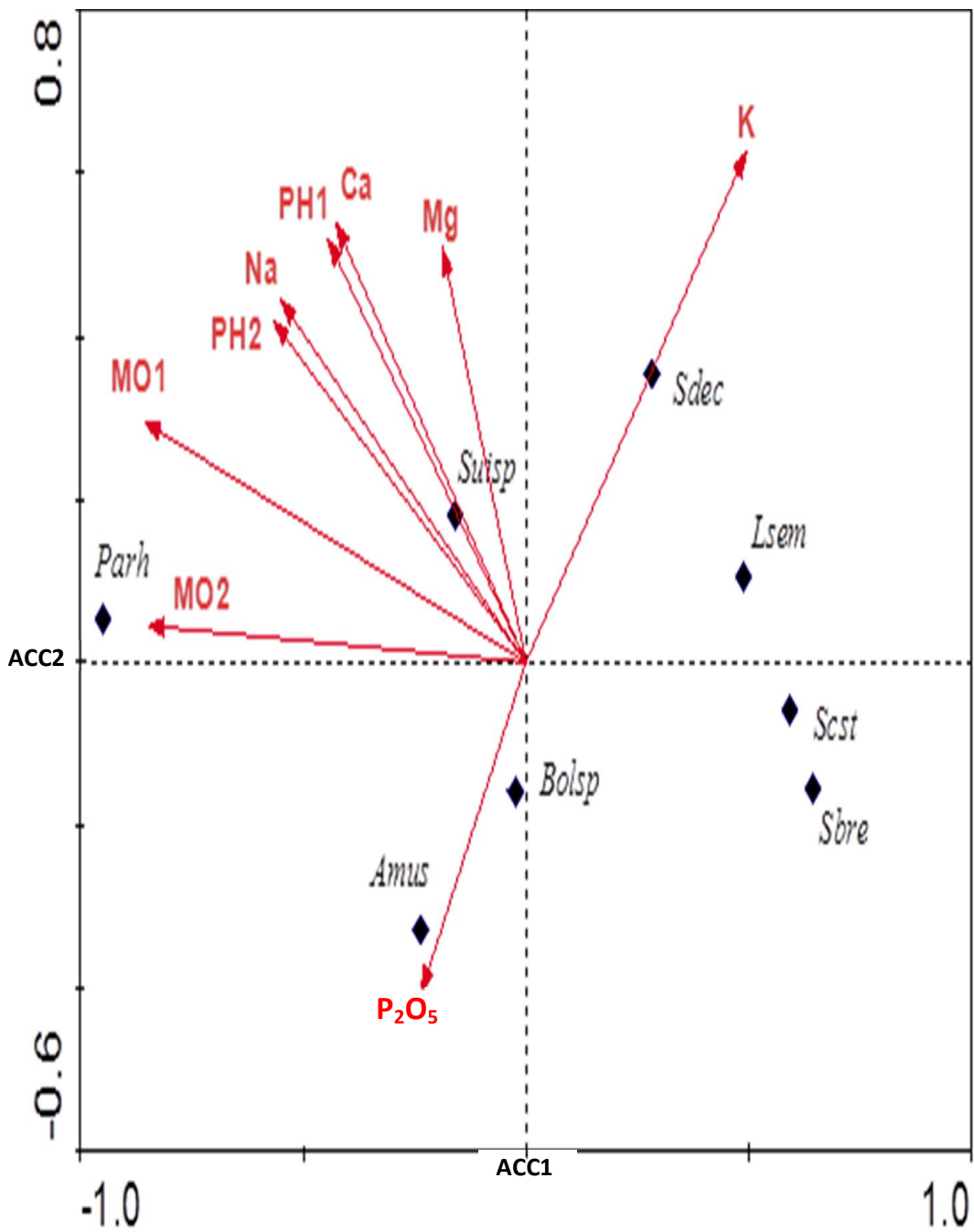


Figura 22. Proyección espacial de variables ambientales y especies de hongos ectomicorrízicos del análisis de correspondencia canónica donde se aplicó quemas prescritas en retroceso

Leyenda: (pH1- pH de 0-10cm de profundidad); (pH2- pH de 10-20cm de profundidad); (MO1- Materia orgánica de 0-10cm de profundidad); (MO2- Materia orgánica de 10-20cm de profundidad); (Na- Sodio); (Ca- Calcio), (Mg- Magnesio), (P_2O_5 - fósforo asimilable) y (K - Potasio). Las especies son diamantes y las variables ambientales son flechas.

Código de Especies: (**Bol sp**-*Boletus sp*); (**S bre**-*Suillus brevipes*); (**S dec**-*Suillus decipiens*); (**Sui sp**-*Suillus sp.*); (**A mus**-*Amanita muscaria*); (**L sem**-*Lactarius semisanguifluus*); (**Sc st**-*Scleroderma stellatum*); (**P arh** -*Pisolithus arhizus*).

En el extremo negativo del eje 1 (ACC1) se asocian a aumentos de materia orgánica de 10-20cm de profundidad (MO2), materia orgánica de 0-10cm de profundidad (MO1) y pH de 10-20cm de profundidad (pH2), mientras que en el extremo positivo del eje 2 (ACC2) se perciben aumentos de potasio (K^+), sodio (Na), calcio (Ca^{2+}), pH de 0-10cm de profundidad (pH1) y magnesio (Mg^{2+}). en el extremo negativo del eje 2 se observan aumentos de P_2O_5 , en menor proporción lo que significa que sus valores tuvieron muy poca variación por el efecto de la quema prescrita.

La distribución del *Pisolithus arhizus* describe patrones de aumentos de materia orgánica de 10-20cm de profundidad (MO2), materia orgánica de 0-10cm de profundidad (MO1) y de pH de 0-10cm de profundidad (pH1), esto explica la aparición de un número importante de carpóforos de esta especie luego de aplicar la quema, la ordenación del *Suillus sp* depende de los aumentos del sodio (N^+), calcio (Ca^{2+}), pH de 0-10cm de profundidad (pH1) y de magnesio (Mg^{2+}), la distribución del *Suillus decipiens* tiene relación con los aumentos de potasio (K^+), la *Amanita muscaria* y el *Boletus sp* están condicionadas a cambios en la cantidad de fósforo asimilable (P_2O_5) disponible en el suelo, sin

embargo, la ordenación de *Scleroderma stellatum*, *Suillus brevipes*, *Lactarius semisanguifluus* no depende de la variación de ninguna de las variables ambientales al distribuirse en el extremo positivo del eje 1.

Es evidente que la distribución de las variables ambientales en relación a las especies de hongos ectomicorrízicos es diferente en cada una de las técnicas de quema, aunque el rango de las intensidades de las dos quemadas es pequeño, influyen otros factores como el tiempo de residencia, la velocidad de propagación, la altura de las llamas y la velocidad del viento. Este estudio de correspondencia canónica se realizó con el fin de analizar si existían diferencias en el comportamiento de algunas condiciones edáficas en cada una de las áreas experimentales donde se aplicó fuego en retroceso y avance respectivamente.

Las variables más importantes en avance, fueron el Calcio, Sodio, Materia orgánica de 0-10cm, pH de 0-10 cm, pH de 10-20 cm de profundidad y en retroceso, el Calcio, Sodio, potasio, Materia orgánica de 0-10cm, pH de 0-10 cm de profundidad. Las especies que más se vieron influenciadas en cada uno de los análisis, fueron *Pisolithus arhizus*, *Amanita muscaria*, *Suillus decipiens*, *Boletus sp* y *Suillus sp*.

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, crea mejores condiciones favorables para el restablecimiento de las comunidades fúngicas.
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. El restablecimiento de las comunidades fúngicas en un bosque de *P. cubensis*, se logra de manera similar en corto período de tiempo cuando se aplica quema en avance y en retroceso, las especies más influenciadas en cada uno de los análisis, fueron *Pisolithus arhizus*, *Amanita muscaria*, *Suillus decipiens*, *Boletus sp* y *Suillus sp*.

RECOMENDACIONES

A la carrera forestal de las tres facultades del país

1. Continuar evaluando los efectos que provocan las quemas prescritas en otros elementos que conforman el ecosistema de pinares, como son la meso y macrofauna del suelo, la fauna silvestre, así como el comportamiento de las plagas, además que los resultados de esta investigación sean material de consulta para estudiantes de pre y postgrados y especialistas de la producción.

A las Empresas Forestales del país

2. Las empresas que poseen en su patrimonio bosques de *Pinus*, incluir esta técnica en los planes de protección contra incendios y utilizarla como herramienta silvícola.

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., Chapíngo. México. 73 p.
3. Álvarez, P. y J. C. Varona. 1988. Silvicultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 354 p.
4. 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.
5. 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.
6. Antonin, V, Noordeloos, M.E., 2010. A monograph of marasmioid and collybioid fungi in Europe. IHW-Verlag: Eching, Germany. 480p.
7. Arija, P.; Hernández, M.; Pinto, P. y De Rueda, J.A. (2013). Efecto de la micorrización de *Pisolithus tinctorius* y *Rhizopogon roseolus* sobre planta de *Pinus nigra* empleada en la restauración de un monte quemado.

8. Arrillaga, P., Iturriotz, J.I., Lekuona, J.M., 2000. Setas del País Vasco. Del campo a la cocina. Ed. Fundación Kutxa. Soc. Cienc, Aranzadi Spain.
9. Arocena, J y Opio, C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113: pp 1-16.
10. Batista, C. 1990. Incêndio Florestal. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 115 p.
11. Batista, A. C. 1995. Avaliacao da queima controlada empovoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná. Tese apresentada como requisito parcial à obtencao do grau de Doutorem Ciencias Florestais. Curitiba. 108 p.
12. Batista, C. 1998. Modelos de estimativa de comportamiento do fogo. 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.
13. Batista, C.; Ramos, M. y Figueredo, M. 2001. Manual sobre prevención de incendios forestales. Proyecto TCP/CUB/0066-FAO. La Habana. 66 p.
14. Bastias BA, Huang ZQ, Blumfield T, Zhihong X, Cairney JWG, 2006. Influence of repeated prescribed burning on the soil fungal community in an eastern Australian wet sclerophyll forest. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 3492-3501.
15. 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.

16. 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.
17. Betancourt, A. 1987. Silvicultura especial de los árboles maderables tropicales. Editorial CientíficoTécnico. Ciudad de la Habana. 427 p.
18. Betancourt, M. 1990. Aspectos técnicos do sistema bracatinga. *In*: Seminário sobre agrosilvicultura no desenvolvimento rural, Curitiba, 1990. Anais Curitiba: Convênio Brasil/Paraná – França – FAO, 1990. pp 41-46.
19. Bisse, J. 1988. Arboles de Cuba. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana. 284 p.
20. Bonet, J.A., Fischer, C.R., Colinas, C., 2004. The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinussylvestris* forests on central Pyrenees. *For. Ecol. Manage.* 203, 157–175.
21. 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.
22. Buée M, Reich M, Murat C, Morin E, Nilsson RH, Uroz S, Martin F. 2009. 454 Pyrosequencing analyses of forest soils reveal an unexpectedly high fungal diversity. *New Phytol* 184: 449-456.

23. Buscardo, E., Rodríguez-Echeverría, S., De Angelis, P., Freitas, H. (2009). Comunidades de hongos ectomicorrícicos en ambientes propensos al fuego: compañeros esenciales para el reestablecimiento de pinares mediterráneos. *Ecosistemas* 18(2):55-63.
24. Brown, A.A. and K.P. Davis 1973. *Forest Fire – Control and use*. New York, McGraw Hill, 2 nd Ed., 686 p.
25. Brundrett MC (2009) Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant Soil* 320: 37–77.
26. Byram, M. 1959. combustion of forest fuel is Dvid, K.P. forest fire-controlahause and Use. New York :McGrau Hill. p 77-84.
27. Camino Vilaró, M.; Mena Portales, J.; Minter, D.W. (2006). *Hongos de Cuba*. www.cybertruffle.org.uk/cubafung [sitio internet, versión 1.00].
28. Cayuela, L., D. J. Golicher, J. M. R. Benayas, M. González E.; N. Ramírez M. 2006. Fragmentation, disturbance and tree diversity conservation in tropical montane forests. *Journal of Aplied ECOLOGY* 43: 1172- 1181.
29. Chávez, A.; Flores, J. y Xelhuantzi, J. 2010. Sistema de clasificación automatizado de suelo. Folleto técnico Número 7. México. 67 p.
30. Ciesla, M. 1995. Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades. Estudio FAO Montes 122. Roma. pp 143 –163.

31. Claridge, A.W., Trappe, J.M., Hansen, K., 2009. Do fungi have a role as soil stabilizers and remediators after forest fire For. Ecol. Manage. 257, 1063–1069.
32. Dahlberg, A., Schimmel, J., Taylor, A.F.S., Johansson, H., 2001. Post-fire legacy of ectomycorrhizal fungal communities in the Swedish boreal forest in relation to fire severity and logging intensity. Biol. Cons. 100, 151–161.
33. Danielson, R.M., 1984. Ectomycorrhizal associations in jack pine stands in northeastern Alberta. Can. J. Bot. 62, 932–939.
34. 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 adhesado de la sierra de Aracena (Huelva). Invest. Agrar. Sist. Reccur. For. 16: 89- 94.
35. 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, (EcologicalStudies, Vol. 84). pp. 216-272.
36. Dickie, I.A., Schnitzer, S.A., Reich, P.B., Hobbie, S.E., 2005. Spatially disjunct effects of co-occurring competition and facilitation. Ecol. Lett. 8, 1191e1200.
37. 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.

38. Durán, F.; Martínez, L.; Gallegos, A.; Pérez, E.; Suarez, Y. y Matos, A. (2014b). influencia de quema prescrita en especies de hongos ectomicorrizicos en bosque natural de *Pinus cubensis* Grisib. Hombre ciencia y tecnología. No. 70, ISSN: 1028-0871.
39. Egger, K.N., 1986. Substrate hydrolysis patterns of postfire ascomycetes. *Mycologia*78, 771–780.
40. FAO. 1986. Terminología del control de incendios en tierras incultas. Estudio FAO Montes No. 70. Roma, 257 p.
41. FAO. 2008b. Proceedings of the Expert consultation to review the FRA 2000 methodology for Regional and Global Forest Change Assessment. 54 p.
42. FAO. 2009. Forest fires and the law. A guide for national drafters based on the fire management voluntary guidelines. Roma. 161 p.
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. y Benavides, J. 2009a. Quemadas 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.
45. 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. México DF. pp 141-152.

46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. Frankland, J.C., 1998. Fungal succession – unraveling the unpredictable. *Mycol. Res.*102, 1–15.
50. Gassibe, P.V., Fraile Fabero, R., Hernández-Rodríguez, M., Oria-de-Rueda, J.A., Martín-Pinto, P., 2011. Fungal community succession following wild fire in a Mediterranean vegetation type dominated by *Pinus pinaster* in Northwest Spain. *For. Ecol. Manage.* 262, 655–662.
51. GEAM, 2006. Programa Nacional Forestal. República de Cuba, hasta el año 2015. MINAG. Dirección Nacional Forestal, La Habana, 87p.
52. Greenpeace. 2006. Que perdemos. España. [http://www. Greenpeace. Org/espana/campaigns/bosques/incendios/](http://www.Greenpeace.Org/espana/campaigns/bosques/incendios/) que perdemos. Año de consulta: 2012.

53. 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.
54. 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.
55. 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*. Mycorriza 13: 17-25.
56. Hallett, P.D., 2007. Soil water repellency is wonderful—the positive environmental implications. In: Abstracts of the Bouyoucos Conference on the Origin of Water Repellency in Soils, Sanibel Island, Florida, p. 16. Available from [URL:http://geography.swan.ac.uk/bouyocos_2007](http://geography.swan.ac.uk/bouyocos_2007).
57. Haltenhoff, D. 1998. Silvicultura preventiva. Santiago de Chile, CONAF. Manual Técnico No. 18. 40 p.
58. Hart, S.C., Deluca, T.H., Newman, G.S., MacKenzie, M.D., Boyle, S.I., 2005. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. For. Ecol. Manage. 220, 166–184.
59. Heikkilä, T.; Grönqvist, R. y Jurvélius, M. 2010. Wildland Fire Management. FAO. Roma. 248 p.

60. Hepper, E.; Urioste, A.; Belmonte, V. y Buschiazso, 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.
61. 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.; Frómata, 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.
62. Hoffland, E., T. W. Kuyper, H. Wallander, C. Plassard, A.A. Gorbushina, K. Hacerwadter, S. Holmstrom, R. LandeWeert, U.S. Lundstrom, A. Rosling, R. Sen, M.M. Smits, P. A. Hees and N. van Breemen. 2004. The role on fungi in weatering. *Frot Ecol. Environ.* 2: 258-264.
63. Horton TR, Bruns TD (2001) The molecular revolution in ectomycorrhizal ecology: peeking into the black-box. *Mol Ecol* 10:1855.1871
64. 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.
65. Jennings, N.; Smith, E. Cromack, Jr.; Sulzman, W.; McKay, D.; Caldwell, A. y Beldin, I. 2012 Impact of postfire logging on soil bacterial and fungal communities and soil biogeochemistry in a mixed-conifer forest in central Oregon. *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-011-0925-5, 393 – 411 pp.

66. 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.
67. Jurado, V. 2006. Incendios forestales y voluntariado ambiental. Disponible en:http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/revistama/revista_ma35/ma35_9.html. Consultado 29/11/12.
68. Kauffman, B. y Martín, E. 1989. Fire behavior, fuel consumption, and forest-floor changes following prescribe understory fires in Sierra Nevada mixed conifer forest. *Ottawa*, v 19: 455-462.
69. Knudsen, H., Vesterholt, J., 2008. Funga Nordica, Agaricoid, Boletoid and Cyphelloid genera. *Nordsvamp*, Copenhagen, vol. 1. pp. 968.
70. Kipfer, T., Egli, S., Ghazoul, J., Moser, B., Wohlgemuth, T., 2010. Susceptibility of ectomycorrhizal fungi to soil heating. *Fungal Biol.* 114, 467–472.
71. Kipfer, T., Moser, B., Egli, S., Wohlgemuth, T., Ghazoul, J., 2011. Ectomycorrhiza succession patterns in *Pinus sylvestris* forests after stand-replacing fire in the Central Alps. *Oecologia* 167, 219–228.
72. Koide, R.T., Fernandez, C.W., Peoples, M.S., 2011. Can ectomycorrhizal colonization of *Pinus resinosa* roots affect their decomposition? *New Phytologist* 191, 508e514.
- Lage, J.E., Lange, D.M., Llimona, X., 1981. Guía de campo de los hongos de Europa, Barcelona, Ed. Omega. pp. 292
73. Last, F.; Mason, P.; Smith, R.; Pelham, J.; Bhoja, K. and Mahmood, A. (1981). Factors affecting the production of fruit bodies of *Amanita*

muscaria in plantations of *Pinus patula*. Proc Indian AcadSci (Plant Sci) 90: 91-98.

74. Mah, K., Tackaberry, L.E., Egger, K.N., Massicotte, H.B., 2001. The impacts of broadcast burning after clear-cutting on the diversity of ectomycorrhizal fungi associated with hybrid spruce seedlings in central British Columbia. Can. J. For. Res. 31, 224–235.
75. Malloch W, Pirozynski A, Raven H. 1980. Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbiosis in vascular plants, a review. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 77: 2113-2118.
76. Martín, N. 2010. Tabla de interpretación de análisis de suelo. Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía. Habana, Cuba. 24 p.
77. 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.
78. 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.
79. 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.

80. Martínez F, Oria de Rueda J, Ágreda T. 2011. Manual para la gestión del recurso micológico forestal en Castilla y León 46, 451p. ISBN: 978-84-615-3138-7. <http://www.pacocastrocreativos.com>
81. Mayett, Y.; Martínez, D.; Sobal, M.; Morales, P.; y Bonilla, M. 2012 Mushroom prices and their effect on consumption: the case of Mexico. *Micología Aplicada internacional*, 24 (1) 11-16 pp.
82. 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.
83. Miyer, F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae: in native and man-made forest. *In: Marks, G.C. and T.T. Koslowski. (eds.). ectomycorrhizae: their ecology and physiology.* Academic Press. Nueva York. pp. 79-105.
84. 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.
85. Molina, R., H. Massicote and J.M. Trappe. 1992. Specificity Phenomena in mycorrhizal simbioses: community-ecological consequences and practical implications. *In: Allen, M.F. (ed.). Mycorrhizal functioning an integrative plant- fungal process.* Chapman and Hall, New York. pp. 357-423.

86. Moreno, E.; Pérez, E.; Durán, F.; María, V. y Rodríguez, Y. (2012). Determinación de material combustible en bosque de *Pinus cubensis* Griseb. Hombre Ciencia y Tecnología. No. 63, ISSN: 1028-0871.
87. Nájera, A. 2000. Curso internacional de protección contra incendios forestales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 24 p.
88. Peay, G.; Kennedy, G. y Bruns, D. 2011 Rethinking ectomycorrhizal succession: are root density and hyphal exploration types drivers of spatial and temporal zonation. Fungal Ecology, 233 – 240 pp.
89. Pedneault K, Angers P, Gosselin A, Tweddell RJ. 2008. Fatty acid profiles of polar and neutral lipids of ten species of higher basidiomycetes indigenous to eastern Canada. Mycological Research, 112: 1428-1434.
90. 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.
91. 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.
92. 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.

93. Pérez, J.; Lorenzana, A.; Carrasco, V. y Yescas, A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Microbiología, Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México.
94. Perry, A., Amaranthus, P., Borchers, G., Borchers, L. y Brainerd, E. (1989). Bootstrapping in ecosystems. *Bioscience* 39:230-237.
95. Pritchett, L. W. 1986. Suelos Forestales Propiedades, conservación y mejoramiento. Traducido por José Hurtado Vega. Limusa. México. 643p.
96. Ramos, M. 2010. Manejo del fuego. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. 230 p.
97. Rincón, A., Pueyo, J. 2010. Effect of fire severity and site slope on diversity and structure of the ectomycorrhizal fungal community associated with post-fire regenerated *Pinus pinaster* Ait. seedlings. *For. Ecol. Manage.* 260, 361–369.
98. Rivera CS, Blanco D, Oria R, Venturini ME. 2010. Diversity of culturable microorganisms and occurrence of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* spp. in *Tuber aestivum* and *Tuber melanosporum* ascocarps. *Food Microbiology*, 27: 286 -293
99. Rodrigo, A., Retana, J.; Pico, F.X., 2004. Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85, 716–729.

100. Rodríguez, D. 1996. Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi Prensa. México. 617 p.
101. 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.
102. 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.
103. 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.
104. 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.
105. Sablón, A.M. 1984. Dendrología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 200 pág.
106. 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.
107. Sánchez, J. y G. Zerecero. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No. 9. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. México. 15 p.

108. Savoie, J.-M.M., Largeau, M.L., 2011. Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. *Appl. Microbiol. Biot.* 89, 971–979.
109. SEMARNAP. 1999. Curso Internacional de protección contra incendios forestales. Centro de capacitación del ITMA, México. 500 p.
110. SEMARNAP. 2006. ¿Cómo se realiza una quema prescrita? Disponible en: http://cecaedesu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/manual_quema_controlada/manual_quema_controlada.shtml. Consultado 11/09/2011.
111. Simard S, Jones M, Durall D (2002) Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants. In: van der Heijden M, Sander I (eds) *Mycorrhizal ecology*. Springer, Berlin, pp 33–74
112. Smith, S.E., Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, Second ed. New York, Academic Press, 605 pp.
113. Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, 3a edition. Academic Press. London.
114. 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
115. Stendell, E.; Horton, T. and Bruns, T. (1999). Early effects of prescribed fire on the structure of the ectomycorrhizal fungus community in a Sierra Nevada ponderosa pine forest. *The British Mycological Society*. 103: 1353-1359.

116. Soares, V. 1985. Incendios Forestales – controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF. 213 p.
117. Soares, R.V. 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties\ in the savamanegron of *Minas Gerais state, Brazil*. Coimbra Universidade de Coimbra", Proceedings of the International Conference on Forest Fire Research: C.06-I-9.
118. 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.
119. TerBraak, F. Verdonshot, M. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in Aquatic Ecology. *Aquatic Sciences* 57: 255-289.
120. TerBraak, C. J. Smilauer, P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca NY, USA.
121. *The Nature Conservancy*. 2005. Introducción a quemas prescritas para áreas naturales protegidas. Belice. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. 43 p.
122. Tisdale, J.M., Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. SoilSci.* 33, 141–163.
123. 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.

124. 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 subcuencas hidrográficas del Río San Diego en Galalón, Pinar del Río, en: Memoria del VI SIMFOR. Pinar de Río. ISBN: 978-759-16-1192-5.
125. 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.
126. Varona, J.C. 1982. Fomento de Plantaciones de pino. 102 pág. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 102 p.
127. Vázquez, F.J., Acea, M.J., Carballas, T., 1993. Soil microbial populations after wildfire. *Microbiol. Ecol.* 13, 93–104 pp.
128. Vázquez, P.; Fraile, R.; Hernández, M.; Oria, J. y Martín, P. 2011. Fungal community succession following wildfire in a Mediterranean vegetation type dominated by *Pinus pinaster* in Northwest Spain. *Forest Ecology and Management*, 655–662 pp.
129. 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.

130. 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.
131. 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.
132. Visser, S., 1995. Ectomycorrhizal fungal succession in jack pine stands following wildfire. *New Phytol.* 129, 389–401pp.
133. Wade, D. D. & J. D. Lunsford 1989. A guide for prescribed fire in southern forests. Technical Publication, Atlanta, U.S.D.A. Forest Service, R8-TP11, 56 p.
134. Zaldívar, A.; Bonilla, M. y Zaldívar, Y. 2008. Los pinos cubanos (primera parte) *Revista Foresta* (Editada por la Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales de España) Nº 41 ISSN: 1575-2356.