

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

USO DE QUEMAS PRESCRITAS EN BOSQUES NATURALES DE
***Pinus tropicalis* Morelet EN PINAR DEL RÍO**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS FORESTALES

AUTOR: M.Sc. ING. LUIS WILFREDO MARTÍNEZ BECERRA

TUTORES: Prof. Aux. Ing. MARCOS PEDRO RAMOS RODRÍGUEZ, Dr. C.

Prof. Titular, Lic. JORGE DE LAS HERAS, Dr. C.

CONSULTANTE: Prof. Aux. Ing. MARTA BONILLA VICHOT, Dra. C.

PINAR DEL RÍO

Año 2006

CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN RECTORAL No. 17/98

Los resultados que se exponen en la presente Tesis, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y/o respaldado por la Universidad de Pinar del Río, por tanto los resultados en cuestión son propiedad del autor y de la Universidad, respectivamente, y sólo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

Autor M.Sc. Ing. Luis Wilfredo Martínez Becerra

AGRADECIMIENTOS

Permítanme expresar mis agradecimientos a las personas e instituciones que han hecho posible la realización de éste trabajo.

A los compañeros profesores del Departamento Forestal, por el apoyo y estímulo brindado.

A los Profesores Dr. C. Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Dra. Marta Bonilla y Dr. C. Jorge de las Heras, tutores y orientadores de la tesis, por la dedicación y estímulo en estos años de trabajo.

A los profesores M.Sc. Iris Castillo, Ing. Leoncio Junco, M.Sc. Maribel Medina, Ing. María Josefa Villalva por el auxilio en la interpretación de los resultados y a la técnica del laboratorio de Silvicultura Mercedes Arañó, por la ayuda prestada.

A los profesores de la disciplina Silvicultura, especialmente al Dr. Rogelio Sotolongo y al Dr. Eduardo González por la ayuda desinteresada.

A los estudiantes Ramiro Veliz Cruz, Luis Valdés Marquez, Jorge Luis Vázquez Boza, Kenia Espinosa Martell, Yordanis Turro, Don Ian Joseph, Elvis Cipriano Poveda y Sadys del Carmen González Pérez, quienes realizaron su trabajo de diploma en este campo.

A los compañeros del Cuerpo de Guardabosques en sus Jefaturas Nacional y de la provincia de Pinar del Río por las facilidades brindadas para la realización de la quema y por la atención que han prestado a cada resultado obtenido.

A la Universidad de Pinar del Río por todo el apoyo material dispensado.

A la Revolución Cubana por ofrecerme la oportunidad de poder superarme

Mi gratitud a todos aquellos que de forma desinteresada no escatimaron esfuerzo y conocimientos para contribuir a la culminación de este trabajo:

Es tiempo de comenzar a dejar atrás la sola prevención y combate (que siempre serán relevantes y siempre deberá continuarse practicándolos), de apoyarnos más en la ciencia y evolucionar. Siempre tendremos que convivir con el fuego, el cómo lo haremos lo tendremos que decidir nosotros. ¿Queremos perseguir por siempre la quimera de eliminarlo? Entonces siempre estaremos corriendo tras él. Mejor reconozcamos que es un elemento natural, que la vegetación y la fauna lo requieren, que le sirve mucho a los pobladores de zonas rurales como herramienta, y tratemos de manejarlo también.

Dante A. Rodríguez Trejo 2000

DEDICATORIA

A MIS PADRES, MI HIJA Y MI ESPOSA

A TODA MI FAMILIA POR TODO EL APOYO ESPIRITUAL DISPENSADO

SINTESIS

El experimento se desarrolló en la Empresa Forestal Integral “La Palma”, Pinar del Río. Su objetivo fue evaluar los efectos de las quemas prescritas en bosques naturales de *Pinus tropicalis* Morelet, en la provincia de Pinar del Río, para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales. Se ubicaron cuatro parcelas de 1000 m². Una fue el testigo y en las restantes se aplicó la quema, antes y después de efectuada la misma se procedió a evaluar la cantidad de material combustible por el método de la parcela de un metro cuadrado. Las variables del comportamiento del fuego se estimaron a través de diferentes ecuaciones. Para la obtención de los datos fueron colocados aleatoriamente cinco puntos de muestreo en cada parcela. Una semana antes, una después, a los 12 meses y a los 36 meses de aplicada las quemas prescritas, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Los datos se analizaron a través de pruebas de comparación de medias (ANOVA). Los resultados muestran un aumento significativo para el pH, el P₂O₅, Na, MO y el K, a los 36 meses de las quemas, por otra parte disminuyó significativamente la capacidad de cambio catiónico a las dos profundidades después de la quema. Se estudió la composición florística antes y un año después del fuego. Mostrando un incremento de la riqueza y abundancia en algunas especies. Cuatro especies endémicas aparecieron después del fuego.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	PAG.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Incendios forestales, quemas controladas y quemas prescritas.	6
2.2. Comportamiento del fuego.	11
2.3. Efectos del fuego.	17
2.4. Mecanismos de resistencia de las plantas al fuego.	20
2.5. Quemas prescritas.	24
2.6. Técnicas de quemas.	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Localización del experimento.	28
3.2. Caracterización del área experimental.	29
3.3. Diseño experimental, muestreo y toma de datos.	33
3.4. Plan de quemas prescritas.	33
3.5. Técnicas de quema utilizadas.	35
3.6. Estimación de la cantidad del material combustible disponible.	35
3.7. Comportamiento del fuego.	37
3.8. Evaluación de los efectos del fuego sobre algunas propiedades y características del suelo.	39
3.9. Evaluación de los efectos del fuego sobre la vegetación.	42
3.10. Factibilidad de la aplicación de la quema prescrita.	44

CONTENIDOS	PÁG
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Plan de quema prescrita.	48
4.1.1. Selección de la época para la ejecución de la quema prescrita.	48
4.1.2. Prescripción.	51
4.1.3. Técnica de quema utilizada.	52
4.1.4. Estimación de la cantidad de material combustible disponible antes y después de la quema.	53
4.2. Comportamiento del fuego.	60
4.3. Evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades y características del suelo.	63
4.3.1. Relación entre los nutrientes del suelo.	71
4.3.2. Densidad y porosidad del suelo.	73
4.4. Evaluación de los efectos del fuego sobre la vegetación.	75
4.4.1. Dinámica de la regeneración natural.	75
4.4.2. Formas de vida y estrategias reproductivas de las especies.	78
4.4.3. Índices de diversidad de especies.	84
4.5. Factibilidad de la aplicación de la quema prescrita.	87
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	108

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques son el resultado del equilibrio entre diversos factores ecológicos, uno de los cuales es el fuego, el cual ha jugado un importante papel como regulador en la sucesión vegetal y especialmente en la forestal. La frecuencia y la intensidad de los incendios forestales están determinadas, de forma general, por el clima, la topografía y la acumulación de material combustible.

En la actualidad se acepta que la frecuencia y la severidad de los incendios en la región tropical y en otras partes del mundo están aumentando. Esto en unos países se relaciona con la pobreza, el aumento de la población o el empleo de políticas inadecuadas. En otros, como Estados Unidos (*USDA Forest Service* 2000; *National Commission on Wildfire Disasters*, 1995), es consecuencia de décadas de prevención y supresión exitosa de incendios en ambientes propensos que llevaron a cambios en las cargas de combustibles y en la composición del bosque que ahora alimentan fuegos más intensos. Controlar estos incendios es difícil y costoso. El aumento de una cobertura de vegetación que se mantenía con fuegos de superficie frecuentes, de baja intensidad y no letales, a una vegetación que ahora alimenta incendios forestales letales que destruyen los rodales (Myers, 2006).

La acumulación de material combustible sobre el piso de los rodales de pinos a lo largo de los años aumenta drásticamente el riesgo de incendios. Una de las alternativas para disminuir este riesgo o disminuir el potencial de daños es reducir periódicamente la cantidad de material combustible en el interior de los rodales a través de la quema prescrita.

A pesar del riesgo y de los problemas que puede causar, el fuego es utilizado de forma controlada y/o prescrita como un instrumento útil y barato en diversas actividades forestales y agrícolas desde hace mucho tiempo en prácticamente todas las regiones del mundo.

La provincia de Pinar del Río es la que muestra en Cuba los valores más elevados de incendios y de áreas afectadas por estos, con la particularidad de que según datos facilitados por el Cuerpo de Guardabosques (CGB, 2004) en 10 años (1993 a 2003) el 69,83 % de los incendios ha ocurrido en bosques de pinos compuestos por *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* Morelet, a los que corresponde el 79,42 % de las áreas afectadas por estos fenómenos.

La especie *Pinus tropicalis* Morelet es endémica y sólo crece de forma natural en Pinar del Río y la Isla de la Juventud y tiene una importante contribución en los volúmenes de madera que se producen en la provincia, posee además buenas propiedades físicas y mecánicas, es buena productora de resina y puede desarrollarse en lugares donde otra especie no puede hacerlo.

En correspondencia con todo lo anterior sería razonable pensar en la posible utilización de quemas prescritas en bosques de *P. tropicalis*. Esto contribuiría a disminuir el riesgo de incendios en los bosques de la especie por la disminución de la cantidad de material combustible.

No obstante, primero debe experimentarse suficientemente para comprobar el comportamiento del fuego en estos bosques y los efectos que esta práctica pueda producir sobre los materiales combustibles, las características químicas y biológicas del suelo y sobre la vegetación de estos biótopos.

La quema prescrita, a pesar de constituir una práctica cotidiana en otros países del mundo, principalmente para reducir los riesgos de incendios forestales y favorecer la regeneración natural, en Cuba no es utilizada por el temor a los posibles efectos negativos del fuego. Unido a lo anterior, las investigaciones realizadas al respecto son limitadas e insuficientes.

El problema general que se trata en esta investigación está relacionado con el riesgo de surgimiento y propagación de los incendios en los bosques de *P. tropicalis* en la provincia de Pinar del Río debido a la acumulación del material combustible disponible.

A partir del conocimiento existente en el mundo, de las potencialidades con que cuenta el país en cuanto al manejo del fuego, en correspondencia con el objetivo central de la política económica trazada en el V Congreso del Partido Comunista de Cuba (1997) y de lo dispuesto en la Ley 85, Ley Forestal, se desarrolla la presente investigación que parte de la hipótesis siguiente:

Será posible la evaluación de los efectos de las quemas prescritas utilizadas para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales en bosques naturales de *P. tropicalis* en la provincia de Pinar del Río sobre el material combustible, algunas propiedades del suelo y la vegetación, si se elabora un plan de quema que incluya: pronóstico del comportamiento del fuego, objetivos, topografía y condiciones atmosféricas locales, y se utilizan las técnicas de evaluación correspondientes de los efectos provocados sobre el material combustible, el suelo y la vegetación.

El **objetivo** general que se persigue con este trabajo es:

Evaluar los efectos de las quemas prescritas utilizadas para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales en bosques naturales de *P. tropicalis* en la provincia de Pinar del Río sobre el material combustible, algunas propiedades del suelo y la vegetación.

Objetivos específicos.

- Fundamentar teóricamente la importancia de la utilización de las quemas prescritas para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales.
- Determinar la carga de material combustibles antes y después de la aplicación de las quemas prescritas.
- Elaborar un plan de quema, incluyendo el pronóstico de comportamiento del fuego como parte de la prescripción.
- Evaluar los parámetros del comportamiento del fuego (intensidad lineal, calor liberado por unidad de área, velocidad de propagación y longitud de las llamas).
- Evaluar los efectos del fuego sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo después de la aplicación de una quema prescrita.
- Evaluar los efectos del fuego sobre la vegetación.
- Determinar la factibilidad de la aplicación de quemas prescritas en bosques naturales de *P. tropicalis*, en la provincia de Pinar del Río para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios.

La novedad científica radica en que por primera vez en Cuba se trata el tema de las quemas prescritas realizándose una evaluación científica del uso de las

mismas para la disminución del riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales en bosques de *P. tropicalis* en la provincia de Pinar del Río ofreciendo elementos técnicos de respaldo para su manejo.

La significación práctica consiste en establecer un área demostrativa de resultados del efecto de las quemas prescritas en bosques de *P. tropicalis*, que respalde la propuesta de uso del fuego para el manejo de combustibles forestales y reducir el riesgo de surgimiento y propagación de los incendios. Además de proporcionar a los tenentes del patrimonio forestal una alternativa para el manejo de combustibles, e incluirla en los programas de protección contra incendios y reducir el impacto del fuego en las áreas forestales.

Finalmente puede señalarse que comprendiendo la relación y evolución que el fuego ha tenido con la sociedad y sus procesos económicos y ambientales, se debe entonces aceptar que ha sido, y es, un elemento de convivencia permanente y continua con el desarrollo humano; por lo tanto, la preocupación no debe estar basada en su extinción, sino en su manejo e integración adecuada a la realidad de nuestro desarrollo; para con ello establecer las bases que permitan minimizar su impacto y fortalecer los bienes y servicios ambientales en garantía de la calidad de vida del hombre.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. Incendios forestales, quemas controladas y quemas prescritas.

Al abordar el tema de los incendios forestales, las quemas prescritas y las quemas controladas lo primero es definir claramente sus conceptos, pues no siempre estos términos son entendidos por todos con igual significado.

La Ley Forestal de Cuba (1999), define incendio forestal como el fuego que ocurre de manera incontrolada en los bosques naturales y artificiales. Según la FAO (1986), incendio forestal es aquel que “ocurre sobre vegetación silvestre, excepto los fuegos bajo prescripción”. Esta definición es utilizada, con frecuencia por distintos autores aunque en ocasiones tratan de ampliar la definición especificando por ejemplo que son fuegos que queman incontroladamente tierras cubiertas total o en parte por árboles, arbustos, pastos, gramíneas u otra vegetación inflamable.

La quema prescrita ha sido tratada por diferentes autores los cuales la han definido de una u otra manera. Chandler *et al.*, (1983), la definen 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 calórica y una tasa de propagación requerida para obtener objetivos planeados de manejo de recursos naturales, con este concepto coincide también la (OIMT, 1997).

Por su parte Haltenhoff (1998), plantea que la quema prescrita es la aplicación cuidadosa del fuego en un sector con vegetación que se desea eliminar, bajo condiciones ambientales que permitan mantener el efecto dentro del área

predeterminada y que al mismo tiempo sea posible lograr un comportamiento del fuego tal, que se obtengan precisamente los objetivos o beneficios perseguidos, con un mínimo de daños, y siempre a un costo razonable.

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 quemas controladas) son sinónimos. No coincidiendo con esto Vallentine (1971), citado por Aguirre (1981), quien considera que quemas prescritas es la aplicación sistemática planeada del fuego en un área, cuando el tiempo y la vegetación favorecen a un método particular de quemas, con el propósito de lograr los máximos beneficios, mientras la quemas controladas es la aplicación planeada y restringida del fuego a un área preseleccionada considerando el tiempo, lugar y control requerido del fuego.

Por su parte Julio (1996), plantea que la quemas prescrita es la aplicación cuidadosa del fuego en un sector con vegetación que se desea eliminar, bajo condiciones ambientales que permitan mantener la quemas dentro de un área predeterminada y que al mismo tiempo, sea posible un comportamiento del fuego tal, que se obtengan precisamente los objetivos o beneficios perseguidos con un mínimo de daño, y todo ello a un costo razonable.

Coincidiendo con varios autores la quemas 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.

De acuerdo con lo anterior se puede decir que el uso del fuego, imitando lo que la naturaleza hace en forma espontánea, mediante su aplicación con apoyo técnico, constituye lo que llamamos quemas prescritas.

Según Haltenhoff (1998), la quema controlada no es más que el uso del fuego para eliminar una vegetación en forma dirigida, circunscrita 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.

Las quemas prescritas pueden usarse para favorecer el establecimiento de regeneración, ya sea por siembra directa, plantación o en forma natural. Estas quemas favorecen a una mejor exposición del suelo mineral, así como el control de la vegetación indeseable que puede competir con la regeneración. De acuerdo con 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:

1. En el control de incendios forestales (como prevención y apoyo al combate).
2. En el control de plagas y enfermedades.
3. En la preparación del terreno para la repoblación.

Según Rodríguez (1996), las quemas prescritas además de facilitar las labores de plantación mediante la reducción de los materiales leñosos y hojas a cenizas, 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.

De acuerdo con Vélez (2000), las quemas prescritas bajo el arbolado en masas de coníferas pueden ser unos 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.

Por lo anteriormente expuesto, podría pensarse que utilizar las quemas prescritas en los bosques de *Pinus tropicalis* reduciría el riesgo de surgimiento y propagación de los incendios, al disminuir la acumulación de hojarasca en el piso del mismo. Además, se crearían condiciones a la regeneración natural de la especie, disminuyendo la competencia entre las especies latifoliadas que invaden las áreas del pinar cuando se evitan los fuegos por largos periodos de tiempo.

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

Incendios forestales. Coincidiendo con varios autores es aquel incendio que se propaga en el bosque de forma incontrolada y que no es usado como una herramienta de manejo.

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.

Quema prescrita. Es la que se realiza según un plan técnico (escrito) bajo prescripción, confinada a un área y 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.

La diferencia fundamental entre quema prescrita y quema controlada radica en que en la primera se conoce lo que el fuego va hacer y como se comportará y en la segunda solamente se confina a un área para cumplir determinados objetivos.

La quema prescrita es un método que usa la silvicultura preventiva y persigue modificar la estructura de los combustibles muertos situado sobre el suelo del monte y las formas de vegetación, para dificultar la propagación del fuego mediante actuaciones lineales y en masas que creen discontinuidades. Vélez (2000) define a la silvicultura preventiva como un conjunto de reglas que se incluyan 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.

Según Jurado (2006), la solución de muchos de los problemas que presenciamos, 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.

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 (SEMARNAP, 2006).

2.2. Comportamiento del fuego.

Un aspecto importante a tener en cuenta durante la planificación de la quema prescrita es cómo se comportará el fuego, lo cual ha sido tratado por diferentes autores, desde hace algunas décadas.

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). Coincidiendo con lo anterior Heikkilä *et al.*, (1993), plantean que estos son los tres factores principales que determinan el comportamiento del fuego.

El comportamiento del fuego es un aspecto de gran trascendencia en el análisis de la iniciación y propagación de los incendios forestales y de las quemas controladas y conceptualmente está referido al conjunto de efectos, principalmente de carácter físico - mecánicos y químicos que se observan en un ambiente afectado por la propagación del fuego, en los momentos en que se está verificando el proceso de la combustión (Brown y Davis (1973).

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, las características de las llamas, el dinamismo que observa 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, entre otros aspectos (Julio, 1996).

Por su parte Soares (1985), plantea que el comportamiento del fuego es un término general usado para indicar lo que el fuego hace, o sea, para describir las principales características de un incendio forestal. Las variables del comportamiento del fuego han sido usadas por varios investigadores para

describir las condiciones adecuadas para realizar quemas controladas en plantaciones forestales (McArthur & Cheney, 1966; citados por Batista, 1995).

También para la creación de índices de peligro de incendios los factores más comunes tenidos en cuenta han sido las condiciones climatológicas, los combustibles y la topografía (Deeming *et al.*, 1978 y Delabraze, 1982; citados por Salas y Chuvieco, 1994).

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

SEMARNAP (1999), plantea que para conocer el comportamiento del fuego en una quema prescrita es necesario conocer algunos antecedentes tales como:

- ✓ Diferentes tipos y características de los combustibles.
- ✓ Datos climatológicos que afectan el lugar de la quema.
- ✓ Características del terreno.

Las variables del comportamiento del fuego han sido usadas por varios investigadores para describir las condiciones adecuadas para realizar quemas prescritas. Estas variables cuantifican y caracterizan el comportamiento del fuego, así como controlan la dificultad de extinción de cualquier fuego, destacando dentro de ellas la intensidad del fuego, el calor liberado por unidad de área, la longitud de la llama, la velocidad de propagación del fuego y la altura de secado letal.

La intensidad del fuego es uno de los parámetros más importantes para

evaluar el comportamiento del fuego (Byram, 1959; citado por Brown y Davis, 1973), 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.

Según Batista (1998), 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.

La longitud de la llama es definida por Molina (1993), como la longitud (según el eje de ésta) 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° ó más la longitud de las llamas es prácticamente igual a su altura que puede ser vista a través de la altura de carbonización de los árboles, si la inclinación es menor que 45° la altura será siempre menor que la longitud.

La velocidad de propagación del fuego 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 (Soares, 1985).

El comportamiento del fuego es el resultado de la interacción de diversos factores, que se pueden clasificar en tres grupos: meteorológicos, topográficos, y el combustible vegetal (Julio, 1996).

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).

La temperatura: Mientras más elevada es la temperatura más baja es la humedad del ambiente y por tanto los combustibles forestales pierden mucha agua, secándose rápidamente, lo cual hace que dichos combustibles ardan con facilidad. La temperatura ambiental generada por la quema controlada o prescrita también es importante debido a su relación con el grado de los daños provocados, pues mientras más elevada es la temperatura del ambiente mayor será la intensidad calórica y aumentarán las posibilidades de que los árboles y renuevos mueran por el calor.

La humedad relativa: Es la cantidad de vapor de agua presente en cierto volumen de aire a una temperatura determinada. Los combustibles muertos tienen la capacidad de absorber humedad de la atmósfera, es decir, cuando el contenido de humedad de los combustibles muertos es mayor que la humedad del ambiente, el agua del combustible se evapora. La relación entre la humedad relativa y la temperatura es muy importante, la humedad relativa normalmente varía inversamente con la temperatura.

Cuando la humedad relativa es menor del 40%, puede ser difícil manejar una quema controlada o prescrita, y cuando es mayor del 70% puede ser que la quema no alcance la intensidad calórica necesaria para cumplir con los objetivos. La humedad relativa puede ejercer un control sobre el contenido de humedad de los combustibles muertos hasta que éstos últimos alcancen aproximadamente el 35% de humedad, para que el contenido de humedad se eleve a mayores niveles, es necesario que el agua en estado líquido (lluvia o rocío) entre en contacto con el combustible.

Otros parámetros a tener en cuenta son:

El viento: Influye en el ritmo de evaporación y por lo tanto en la humedad de los combustibles forestales. Mientras más rápida es la velocidad del viento, mayor es su efecto sobre el secado de los combustibles. Además de la velocidad del viento, también es importante su dirección que puede ser utilizada para controlar la dirección y velocidad de propagación de una quema controlada o prescrita.

La topografía: es el factor más constante, influyendo sobre los otros dos grupos de factores del comportamiento del fuego, debiendo considerar tres aspectos, la exposición, elevación y la inclinación. A medida que aumenta la inclinación, la velocidad de propagación también aumenta (SEMARNAP, 1999). De acuerdo con 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 en los combustibles sea diferente su contenido de humedad.

La pendiente: Tiene una gran influencia en la velocidad de propagación de la quema, por ejemplo, en terrenos con mucha pendiente donde se pretende hacer una quema controlada o prescrita, se deberá tener especial cuidado en seleccionar la técnica de quema más adecuada ya que el fuego avanzará hacia arriba de la pendiente y cuanto más pronunciada sea ésta, mayor velocidad de propagación tendrá la quema.

La exposición: Es la orientación del terreno con respecto a los puntos cardinales en el cual los rayos solares tienen influencia en los diferentes grados de humedad de la superficie.

La altitud: Es la altura con relación al nivel del mar del área a quemar. Esta influye en forma directa en la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y en los tipos de vegetación. En las partes bajas las temperaturas son mayores, humedad relativa menor y por tanto los combustibles se encuentran más secos. 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, es decir, a través de los cuales es posible la iniciación y propagación de los incendios forestales.

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 (kg.m^{-2} o t.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 (CONAF, 1994).

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).

De acuerdo con SEMARNAP (1999), los combustibles son de dos clases:

Muertos y vivos. 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.

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 donde el fuego puede ir y a la velocidad con que se propague. 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. 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 & Brown, 1988).

2.3. Efectos del fuego.

Los efectos del fuego en rodales de pino en Cuba han sido poco estudiados. Benítez (2003), observó una buena uniformidad y número de plantas por hectáreas de *P. caribaea* var. *caribaea*, tras el paso de un incendio de intensidad media. Figueroa (2003), refiriéndose a las potencialidades de las masas de *P. tropicalis*, considera que ante cualquier alteración (fuegos), la regeneración de la especie se manifiesta de manera explosiva.

Brown y Sieg (1996), coinciden con Chandler *et al.*, (1983) al plantear que el fuego fue una clave para los procesos ecológicos que determinó la composición y estructura de muchas comunidades de plantas en el Oeste de Estados Unidos de América antes de esparcirse la colonización por América y agregan que desde la colonización, el ganado de pastoreo y la supresión del

fuego han reducido o completamente excluido el fuego de muchos ecosistemas.

El efecto del fuego sobre el suelo depende de las propiedades del mismo, la intensidad y duración del incendio, la topografía y el clima. Al respecto pueden ubicarse tres niveles de efectos sobre el suelo (Granados y López, 1998):

Bajo. La capa de materia orgánica se quema superficialmente.

Moderado. La capa de materia orgánica se quema, pero la estructura del suelo no se altera visiblemente.

Alto. La materia orgánica se reduce a cenizas. El color y la estructura del suelo mineral se alteran visiblemente.

Según el mismo autor los efectos de una quema prescrita son menores que los de un incendio con relación a las propiedades del suelo, como son la temperatura, propiedades físico químicas, microflora y fauna del suelo y el mayor efecto es convertir los nutrientes minerales no disponibles que se encuentran en la materia orgánica, en una forma soluble aprovechable por las plantas.

Por el contrario Pyne *et al.*, (1996), señalan que las propiedades físicas del suelo en los ecosistemas tropicales están influenciadas por la actividad de la fauna del suelo, tal como los gusanos de tierra, termitas y otros. Es de esperar que existan efectos directos adversos sobre estas poblaciones por las altas temperaturas.

De acuerdo a lo anterior, se puede inferir que eventuales daños a las propiedades del suelo se podrán producir solo en quema de desechos forestales, sin embargo esto se puede evitar a través de la prescripción de la quema, a través de un adecuado manejo de la carga de combustible,

distribución y contenido de humedad del combustible, humedad del suelo y condiciones ambientales (Rodríguez, 2000).

El efecto del fuego sobre la vegetación varía según su tamaño (especialmente la altura), su estado de crecimiento (activo o latente) y su tolerancia al fuego, también varía de acuerdo con la duración e intensidad, la época y las condiciones meteorológicas durante las cuales este sucede. Varias especies de plantas ante este fenómeno han desarrollado mecanismos de defensas que les permiten sobrevivir después del incendio y que les dan ventajas sobre aquellas plantas sin tales adaptaciones (Vélez, 2000).

Concluyendo con los efectos producidos se cita a Atzet y Gripp (1988), quienes plantean que los efectos del fuego dependen de su variabilidad en el tiempo y en el espacio. La frecuencia, intensidad y duración varía en el tiempo; la extensión y distribución varían en el espacio. Estas variables definen el régimen de fuego que es dependiente del ambiente de este, siendo los tres factores más importantes en el mismo las condiciones climatológicas, los combustibles y la topografía. La fuente de ignición puede ser importante.

El análisis anterior fundamenta la necesidad de disminuir la ocurrencia y propagación de los incendios forestales, aplicando quemas prescritas en aquellos rodales con vistas a minimizar los daños ocasionados por estos, una de cuyas alternativas, según se presenta en esta tesis, es dotar a los planes de prevención de una base científica a partir de evaluaciones de los efectos de ellas.

Según Vélez (2000), las principales emisiones a la atmósfera durante la combustión son: CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), CH₄ (metano), NO_x (NO y NO₂) (óxidos de nitrógeno), NH₄ (amoníaco), O₃ (ozono) y

partículas sólidas. El CO_2 y el CH_4 son gases de efecto invernadero que pueden contribuir al calentamiento global aparente. El CO, el CH_4 y los NO_x contribuyen a la producción fotoquímica de O_3 en la troposfera. El O_3 es un contaminante que puede ser irritante e incluso tóxico. El NH_4 genera en la troposfera ácido nítrico (HNO_3) y contribuye a la lluvia ácida. Las partículas sólidas (humo, hollín) se difunden por la atmósfera absorbiendo y reflejando los rayos solares, con impacto en el clima más o menos amplio, según la difusión que alcancen. También pueden producir problemas respiratorios si su concentración es muy elevada.

El efecto sobre los vertebrados, y la macrofauna en general, es dependiente de la agilidad de las especies, de la intensidad y duración del incendio y de las probabilidades de refugios como madrigueras y grietas, que estén disponibles. Algunos organismos como hormigas, termitas, lombrices, arañas, escorpiones y otros, superan total o parcialmente el incendio en refugios bajo tierra, siendo activos poco después de terminado el fuego (Booyesen y Taiton, 1984; Koslowski y Ahlgren, 1974; Wrigh y Bailey, 1982; Warren *et al.*, 1987; citados por Haltenhoff, 2005).

2.4. Mecanismos de resistencia de las plantas al fuego.

La resistencia al fuego de las diferentes especies difieren relativamente, así por ejemplo: *Pinus tropicalis* Morelet al tener sus acículas dispuestas en forma de brocha grande, una corteza gruesa que protege el cambium y un sistema radical profundo, sobreviven más fácilmente la quema que las de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Figueroa (2003), señala que estas características han contribuido a la sobrevivencia de dicha formación en el tiempo.

La mayoría de las plantas mantienen viva su sistema radical y rebrotan (*Quercus*) mientras que otras mueren, pero se regeneran a partir de semillas resistentes al fuego (*Pinus*) y, a menudo, su germinación se ve favorecida por las altas temperaturas y otras plantas presentan ambos mecanismos de regeneración (Vallés y Badia, 2005).

De las Heras *et al.*, (2006), destacan en un estudio realizado de los efectos de diferentes tratamientos de calor (90°C, 110°C, 150°C y 200°C) aplicados en las semillas de *Pinus tropicalis* y *Pinus caribaea* para diferentes tiempos de exposición (30 s, 60 s y 300 s), la tolerancia a las temperaturas elevadas resultantes de los fuegos y su influencia en la dinámica de germinación de la semilla. Los resultados mostraron una resistencia elevada de las semillas de ambas especies a las temperaturas altas, e incluso un aumento significativo de la germinación, principalmente en el caso de *Pinus tropicalis*. Lo que puede ser uno de los factores del aumento de poblaciones de *P. tropicalis* en la relación con la especie de *P. caribaea* en las zonas donde se producen con frecuencias incendios.

El fuego como elemento natural, es un factor más entre los que definen la estación y ha contribuido, desde siempre, a la repartición y selección de especies, a la composición de las formaciones vegetales y a la estabilidad, alternancia o sucesión de sus etapas, hasta tal punto que, en muchos casos, es necesario para la multiplicación de ciertas especies y la regeneración de sus formaciones (Ruiz del Castillo, 2000).

Kauffman y Martin (1989), señalan que el factor fuego ha definido la adaptación de ciertas especies como el *Pinus ponderosa* en ecosistemas forestales, lo que, a su vez, ha llevado a su sobrevivencia y dominio en un área dada. Esto

indica que el fuego forma parte de la dinámica de algunos ecosistemas forestales, por lo que el uso deliberado de este factor lo condiciona como una herramienta dentro del manejo integral forestal.

El fuego, asimismo como otros factores de disturbios, tales como deforestación y alteraciones hídricas, deben ser mejor estudiados para comprender los componentes del proceso y sus efectos como base de entendimiento de cómo los bosques pueden ser manejados y utilizados como una fuente renovable de recursos, preservando la biodiversidad. La literatura se basa en la hipótesis de que (Attiwill, 1994).

- I) el disturbio o alteración de un bosque es la mayor fuerza moldeadora de su desarrollo, estructura y función.
- II) el manejo de los bosques para dar todos sus beneficios, puede estar contenido dentro de aquellas resultantes de disturbios naturales.

Según Aguirre (2006), la capacidad de algunas especies para rebrotar después de un incendio forestal depende de la intensidad y frecuencia de los incendios, edad, forma de vida o hábito de crecimiento y modificación de sus raíces. La edad de las plantas influye en el comportamiento posterior de la vegetación; las más viejas y vigorosas soportan los incendios y por lo tanto tienen mayor posibilidad de rebrotar. Los arbustos y hierbas rosetas también soportan los incendios debido a que sus yemas o meristemos apicales quedan encerrados en las hojas exteriores y se protegen de ser quemados totalmente.

Al contrario las hierbas, arbustos y enredaderas son más vulnerables a las quemaduras. El tipo, estructura y la modificación de las raíces posiblemente juegan el papel más importante en soportar incendios, así las especies con rizoma; cormo y bulbos sobreviven porque sus raíces modificadas se encuentran al

menos 2-3 cm bajo la superficie del suelo. También soportan los incendios y luego rebrotan las especies de arbustos y subarbustos leñosos cuyas raíces alcanzan considerable profundidad que les permite resguardarse de la acción del fuego.

Granados y López (1998), plantean que un ecosistema dependiente del fuego frecuentemente contiene organismos cuya supervivencia y continuidad está determinada por el fuego, el cual se convierte en un componente esencial del ambiente. Las plantas presentan adaptaciones evolutivas relacionadas con el fuego.

Se han descrito los siguientes mecanismos de supervivencia de las plantas al fuego (Granados y López, 1998).

- Desarrollo de cortezas gruesas alrededor del tronco y ramas.
- Protección de yemas apicales por catáfilos densamente cubiertos de pelo o escudos imbricados.
- Presencia de yemas latentes bajo tierra.
- Sistemas subterráneos muy extensos penetrando profundamente en el subsuelo.
- Dosel elevado y copas separadas.
- Desarrollo de rizomas y chupones radiculares

Para algunas especies se considera que la quema es uno de los factores que condicionan su existencia en determinadas áreas. Muchos ecólogos opinan que la aparición de pinares en regiones de América Latina y en otros lugares, se debe sobre todo a los fuegos, ya que estos posibilitan la extensión de dichas comunidades boscosas, puesto que muchas de éstas regiones habían sido quemadas ya desde la época de las antiguas culturas indias (FAO, 1999).

En esta formación natural las especies presentan diferente mecanismo de supervivencia tras la aplicación de fuegos, se regeneran por semillas, raíces y cepas.

2.5. Quemas prescritas.

Según SEMARNAP (2006), para realizar las quemas controladas o prescritas es necesario conocer los factores atmosféricos que influyen en el comportamiento del fuego.

Las quemas prescritas se apoyan en el principio de que los efectos del fuego, sobre el recurso forestal, son en ocasiones benéficas. Esto puede ocurrir en incendios forestales, aunque en forma fortuita, dependiendo de las condiciones atmosféricas y del lugar específico. Siendo más conveniente conseguir las ventajas del fuego en forma deliberada y controlada, lo cual es el propósito de las quemas prescritas (Flores y Benavides, 1994). Este tipo de quema se usa ampliamente en varios países como apoyo a sus planes de manejo integral.

Una de las preocupaciones más importantes en la actividad forestal es asegurar la continuidad del recurso. Las quemas prescritas pueden usarse para favorecer el establecimiento de regeneración. Sánchez y Zerecero (1983); Wade y Lunsford (1989), indicaron que estas quemas son útiles para ayudar el establecimiento de la regeneración ya sea por siembra directa, plantación o en forma natural. El fuego usado con estos fines favorece una exposición adecuada del suelo mineral, así como el control de la vegetación indeseable que puede competir con la regeneración.

De acuerdo con Goldammer (1982), la descomposición de las acículas en plantaciones jóvenes de *Pinus* es muy lenta, resultando un número de

acumulaciones del material que puede llegar a 12 t.ha^{-1} en plantaciones de seis a siete años. Los incendios ocurridos durante la estación seca liberan calor y producen alturas de llamas suficientes para destruir poblaciones enteras. Esta energía potencial del incendio puede ser reducida por el uso de técnicas de quemas controladas sin daños a la población.

La quema prescrita parece ser una de las mejores soluciones para el problema de la acumulación del material combustible en poblaciones de *Pinus*, que son especies resistentes a los fuegos de baja intensidad. Por ser una técnica relativamente barata, su aplicación podría representar gran economía y menor costo de protección contra incendios forestales (Soares, 1990).

Coincidiendo con los diferentes autores será razonable la utilización de las quemas prescritas en estos bosques para obtener una disminución de la ocurrencia y propagación de los incendios y lograr la permanencia de tan importante formación.

2.6. Técnicas de quemas.

Existen varias técnicas de quemas que pueden ser utilizadas para atender los objetivos propuestos sobre diferentes condiciones meteorológicas, topográficas y de material combustible.

Tomando como base el comportamiento del fuego 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 las más rápidas tasas de propagación, las más amplias zonas de quemas y las mayores

longitud de las llamas. La quema contra el viento es menos intensa, presentando las menores tasas de propagación, una estrecha zona de quema y pequeña longitud de las llamas. La quema en flancos presenta intensidades intermedias entre la quema a favor y la quema contra el viento (Wade y Lunsford, 1989).

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 técnica es la más fácil y segura de los tipos de quema controlada (Batista, 1995).

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 60 metros. Este método es relativamente rápido, flexible y generalmente de costo moderado. 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 posibilidad de secado letal a las copas (Brown & Davis, 1973; Wade & Lunsford, 1989; De Ronde *et al.*, 1990).

La técnica de quema en flancos consiste en encender líneas de fuego paralelas a la dirección del viento, de modo que el fuego se propague formando un ángulo recto con la dirección del viento. Esta técnica requiere conocimientos considerables del comportamiento del fuego. Algunas veces se utiliza también para auxiliar la quema contra el viento en áreas de combustibles finos en condiciones climáticas muy húmedas. Este método de quema solo puede ser usado cuando hay alteraciones en la velocidad del viento (Brown & Davis, 1973; Wade & Lunsford, 1989; De Ronde *et al.*, 1990).

Las quemas en manchas consisten en emplear una serie de pequeños puntos o círculos de fuego que queman en todas direcciones, encontrándose antes que se tornen muy grandes y se propaguen violentamente. La coordinación perfecta del tiempo y del espacio que se encienden los puntos de fuego es fundamental para la aplicación de este método, se usa fundamentalmente en áreas de residuos de explotación (Batista, 1995).

La quema central o en anillos, consiste en prender varios puntos de fuego en forma más o menos circular en el centro del área. La propagación desde estos puntos de fuego se va acelerar a medida que la liberación de calor aumenta, formando una activa columna de convección. En áreas mayores de 4,0 ha, una segunda serie de puntos de fuego (formando un anillo que envuelva a la primera) es iniciada, entre 15 y 30 metros del límite externo del área. Debido a la fuerte columna de convección creada en la región central, el fuego no se propaga con mucha intensidad en la dirección de los límites externos del área. Esta técnica generalmente puede ser usada en cualquier época del año (Batista, 1995).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento.

El experimento se realizó en un bosque natural de *Pinus tropicalis* Morelet, perteneciente a la Unidad Silvícola “San Andrés”, Empresa Forestal Integral (E.F.I.) “La Palma”, provincia de Pinar del Río. El área experimental se encuentra situada en el punto de confluencia de las coordenadas geográficas $22^{\circ} 41'$ de latitud norte y los $83^{\circ} 27'$ de longitud oeste (figura 1), con una altitud media sobre el nivel del mar de 100 m y una pendiente del 13 %.

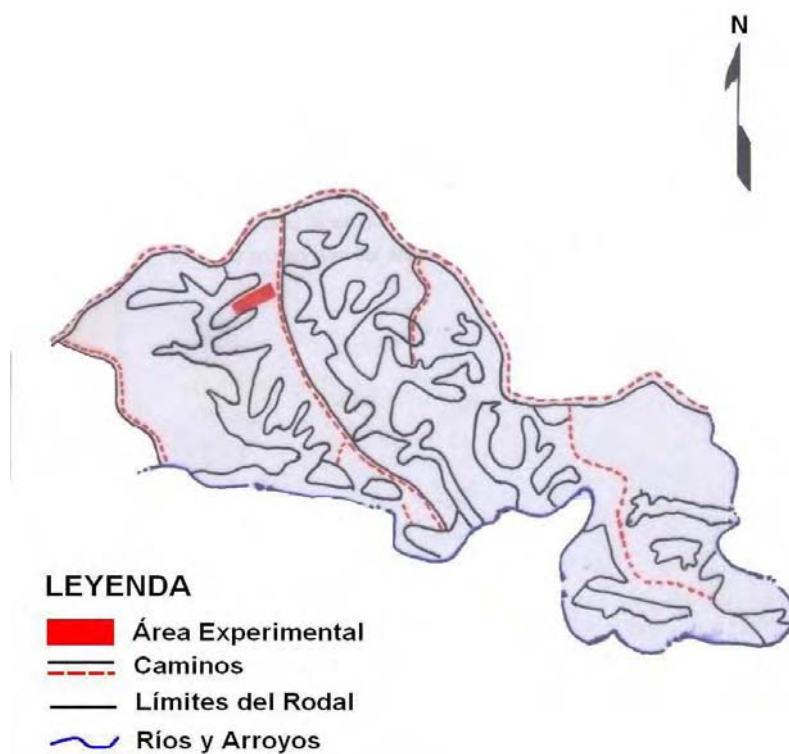


Figura 1. Localización del área experimental.

3.2. Caracterización del área experimental.

En este epígrafe se presentan características climáticas, edáficas y de la vegetación del área del experimento.

El clima del área según Koeppen (1936), citado por Wadsworth (2000) es del tipo tropical húmedo (Aw). El climodiagrama (figura 2) realizado con los datos meteorológicos de la Estación Hidrológica “Amistad” correspondientes al período de 1995 al 2004, muestra que no se presentan períodos secos significativos, aunque normalmente se presenta un período poco lluvioso desde el mes de noviembre hasta abril y uno lluvioso desde mayo hasta octubre, mientras que la temperatura media mensual es superior a los 20 °C.

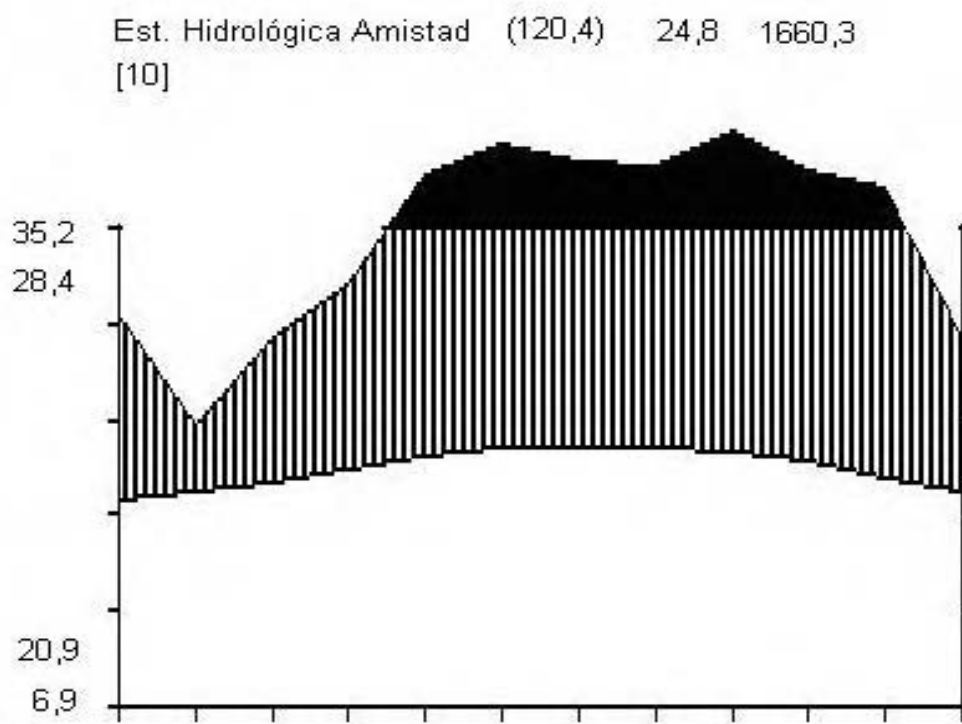


Figura 2. Climodiagrama del área del experimento. Estación Hidrológica Amistad, Galalón, Municipio La Palma. Período 1995 – 2004.

El suelo del lugar, según Fundora (1994) y MINAGRI (1984), corresponde al tipo ferralítico cuarcítico amarillo típico, fuertemente desaturado (<40%), muy profundo (>100cm), medianamente humificado (2,0 – 4,0%), de textura loam arenoso con poca graviliosidad (<2,0%), presentando una pendiente de 16,1 – 30% (alomado) y poco montañoso. Posee baja capacidad de cambio catiónico, por lo que el contenido de materia orgánica es bajo, al igual que su fertilidad natural. Su pH es ácido. Por su parte, Hernández *et al.*, (1999) en la nueva clasificación de suelos de Cuba, lo clasifican de ferralítico amarillento lixiviado, subtipo típico.

En cuanto a la vegetación puede decirse que la especie dominante es el *P. tropicalis*, pudiéndose clasificar en la etapa de desarrollo de latizal alto. Esta especie según Samek (1967), es la más heliófila de los pinos cubanos, por lo que requiere una gran cantidad de luz para su germinación y desarrollo, lo que indica que su regeneración natural solo es posible en lugares soleados y está confinada a los sitios ecológicamente extremos. Por su parte Betancourt (1987), plantea que en aquellos lugares donde los suelos son más pobres y secos, forma rodales puros, o casi puros, pero en otros más fértiles al pie de las laderas está asociado al *Pinus caribaea*.

En la tabla 1 se muestran los valores correspondientes a los índices dasométricos para el *P. tropicalis* de las parcelas de investigación, como se aprecia presenta valores por debajo de su potencial productivo, debido fundamentalmente a la falta de atenciones silviculturales, coincidiendo con lo planteado por Ares (1999) y Figueroa (2003),

Tabla 1. Índices dasométricos de *P. tropicalis*. Caracterización estadística.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Std.
Diámetro (1,30) (cm)	147	06	39	21	0,066
Altura total (m)	147	3,50	19,00	12,9	2,2650
Altura de fuste limpio (m)	147	1,50	11,60	8,5	1,8141
Área de copa (m ²)	147	,36	37,66	7,45	6,4900
N (arb.ha ⁻¹)				250	
G (m ² .ha ⁻¹)				8,82	
Volumen m ³ .ha ⁻¹				53,50	

Es notable destacar la altura del fuste limpio que presentan los árboles de la especie, 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 y que no influya en su crecimiento y poder sobrevivir a los fuegos superficiales de baja intensidad.

Florísticamente por estrato, el bosque se caracteriza por un estrato arbóreo compuesto por *Pinus tropicalis* Morelet, un estrato arbustivo compuesto por *Roigella correifolia* (Griseb.) Borhidi & Fernández, *Cyrilla racemiflora* L., *Clusia rosea* Jacq, *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. y *Matayba apetala* (Macf.) Radlk., y un estrato herbáceo compuesto por *Byrsonima pinetorum* Griseb., *Tetrazigia coreacea* (Mill.) Cogn., *Roigella correifolia*, *Clidemia hirta* (L.) D.Don, *Cyathea arborea* Smith, *Clusia rosea* y *Sorghastrum stipoides* (H.B.K.) Nash. También se encuentran lianas y epifitas.

Las variables dasométricas del estrato arbóreo evaluadas antes de la quema fueron: diámetro, altura total y altura del fuste limpio. Con esta información se

calculó el área basal y el volumen de madera por hectárea en el área objeto de estudio, mediante las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5.

$$\text{Área basal. } g = \frac{\Pi}{4} * d^2 \quad (1)$$

$$\text{Volumen. } V = \frac{\Pi}{4} * d^2 * h * f \quad (2)$$

$$N7ha = \frac{N^{\circ} \text{árboles} / \text{parcela} * 10000m^2}{1000m^2} \quad (3)$$

$$\text{Volumen por hectárea. } V / ha = \frac{\Pi}{4} * (d^-)^2 * h^- * f * N \quad (4)$$

$$\text{Área basal por hectárea. } G / ha = \frac{\Pi}{4} * (d^-)^2 * N \quad (5)$$

Donde:

V: Volumen

g: Área basal

V/ha: Volumen por hectárea (m³.ha⁻¹)

G/ha: Área basal por hectárea (m²/ha)

d: Diámetro

h: Altura

$\left(\bar{d}\right)^2$: Diámetro medio al cuadrado (m²)

\bar{h} : Altura media (m)

f: Coeficiente mórfico de la especie (0,47)

N: Número de árboles por hectárea

3.3. Diseño experimental, muestreo y toma de datos.

Durante el desarrollo del experimento se evaluó el comportamiento del fuego y los efectos de este sobre el material combustible disponible, algunas características del suelo y la flora. Debido a esto fue necesario combinar en el mismo lugar distintos tipos de parcelas. En el caso del comportamiento del fuego el diseño experimental consistió en la ubicación de cuatro parcelas rectangulares de 1 000 m² cada una, con dimensiones de 20 por 50 metros. Tres fueron quemadas (parcelas 2, 3 y 4) y una quedó como testigo. Para cuantificar el material combustible con vistas a estimar algunas variables de su comportamiento y evaluar los efectos del fuego sobre el mismo, se establecieron parcelas de 1 m².

En el caso de la evaluación de los efectos del fuego sobre la vegetación se montaron parcelas de 100 m². Para evaluar los efectos del fuego sobre algunas características del suelo se ubicaron convenientemente las calicatas correspondientes. En los epígrafes siguientes se explica con más detalles todo lo relacionado con estas parcelas.

3.4. Plan de quemas prescritas.

El plan de quemas prescritas es un conjunto de acciones o tareas en el terreno que se deben llevar a cabo antes, durante y después de la quema para alcanzar los objetivos de la misma sin peligro. Para esto se apoya en la prescripción (anexo 2) que según SEMARNAP (1999), es el conjunto de condiciones (factores topográficos, meteorológicos, combustibles, intensidad y otros) que se especifican para el control del comportamiento del fuego en una quema prescrita.

Para la planificación de una quema prescrita se debe prever la cuantía y tipos de recursos que se requerirán, la obtención del permiso por parte del Cuerpo de Guardabosque, con el visto bueno del Servicio Estatal Forestal. El dueño del patrimonio es quien pide la autorización de quema. Es muy importante avisar a las autoridades (Poder Popular, Partido, y EFI), así como a las comunidades cercanas al lugar de la quema y al público en general.

Según TNC (2005) este documento debe contener la mayor información posible, destacando las siguientes:

- Ubicación
- Fuentes de asistencia de emergencia
- Permisos y notificaciones oficiales
- Localización y características topográficas de la parcela (superficie, exposición, pendiente, altitud).
- Justificación de la quema prescrita (objetivos, efectos deseados)
- Descripción del complejo combustibles (cobertura, altura, tipos, carga, continuidad horizontal y vertical).
- Prescripción del combustible y de las condiciones meteorológicas
- Características deseadas de la quema (direcciones de avances, velocidad de propagación, intensidad y largo de la llama)
- Técnica de quema a emplear y método de ignición.
- Monitoreo durante la quema (comportamiento del fuego).
- Acciones a realizar en caso de perderse el control
- Liquidación.

El plan de quema prescrita fue desarrollado considerando la época en que se realizaría la ejecución de la misma, la prescripción, las técnicas de quema a utilizar, el material combustible y el comportamiento del fuego.

3.5. Técnicas de quema utilizadas.

Para la ejecución de la quema prescrita fueron aplicadas dos técnicas básicas de quema: quema contra el viento o en retroceso y quema a favor del viento o quema frontal.

La quema contra el viento o en retroceso de acuerdo con lo descrito por Batista (1995), consistió en hacer que el fuego se extienda en dirección opuesta al viento y en dirección contraria a la pendiente.

La quema a favor del viento o quema frontal consistió en hacer que el fuego se propagara a favor del viento y de la pendiente.

Las líneas de fuego fueron encendidas por el lado de 50 metros de cada parcela, utilizando una antorcha de goteo, a partir de la trocha que delimitaba la parcela. De esta forma, el fuego recorrió el ancho de la parcela, o sea, 20 metros.

3.6. Estimación de la cantidad de material combustible disponible.

La estimación de la cantidad de material combustible fue realizada una semana antes de la fecha en que se ejecutó la quema y una semana inmediatamente después de realizada la misma. Se utilizó el método de muestreo de las parcelas de 1 m², ubicándose cinco de estas en línea recta al centro de cada parcela de 1 000 m² con una separación de 10 metros entre ellas. Con la ecuación 6, a través de un premuestreo, se determinó el tamaño de la muestra

para cada una de las clases en que se clasificó el material combustible. Como el número de parcela varió de una clase a otra, se trabajó con el tamaño correspondiente a la clase de mayor variabilidad, lo cual implica el mayor número de parcelas obtenido.

$$n = \left(\frac{CV * t}{EM \%} \right)^2 \quad (6)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

CV = Coeficiente de variación

EM = Error de muestreo (15 %)

t = Valor obtenido de la tabla de distribución de t de Student con n-1, para un 95 % de probabilidad.

El material combustible disponible se clasificó en misceláneas, material vivo y material leñoso muerto. Se consideraron misceláneas a los materiales no leñosos muertos tales como hojas, hierbas, hojarasca, humus y frutos. Como material vivo se consideró a la vegetación verde con diámetro menor de 2,5 cm y altura menor de 1,80 m. El material leñoso muerto se clasificó de acuerdo a Fosberg (1971), citado por Batista (1995) según muestra la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del combustible leñoso muerto según su diámetro.

Categorías	Diámetro (cm)	Tiempo de retardo
• Clase 1	0 – 0,6 cm	1 hora
• Clase 2	0,6 – 2,5 cm	10 horas
• Clase 3	2,5 – 7,6 cm	100 horas
• Clase 4	> 7,6 cm	1000 horas

El peso del material combustible por cada una de las clases se determinó utilizando una balanza con precisión de 0,1 g. Posteriormente se tomó una pequeña submuestra de cada clase, la cual fue pesada, identificada, embalada en bolsas plásticas y llevada al Laboratorio de Investigaciones del Departamento de Química de la Universidad de Pinar del Río, el material fue secado en la estufa a una temperatura de 75 °C (± 5 °C) durante 48 horas, determinándose posteriormente el peso seco de acuerdo con metodología propuesta por Batista (1995).

El mantillo es la capa superior del suelo, formada en gran parte por los materiales recién caídos, semidescompuestos y en descomposición. Para determinar su profundidad se utilizó una regla graduada tomando en cada uno de los bordes de las subparcelas de un metro cuadrado, su profundidad en centímetros.

3.7 Comportamiento del fuego.

El comportamiento del fuego se evaluó en las parcelas de 1 000 m². Algunos de los parámetros utilizados para esto fueron obtenidos directamente en el

momento de la quema y otros fueron estimados indirectamente a través de ecuaciones, según se presenta a continuación.

Para estimar la intensidad del fuego se utilizó la ecuación 7 (Byram, 1959), citado por Brown y Davis (1973).

$$I = H \times w \times r \quad (7)$$

Donde:

I : Intensidad del fuego en kW.m⁻¹.

H : Calor de combustión en kJ.kg⁻¹ (16 720 kJ.kg⁻¹) \approx (4,000 kcal.kg⁻¹).

w : Peso del combustible disponible en kg.m⁻².

r : Velocidad de propagación del fuego en m.s⁻¹.

La forma de obtención de la variable (**w**), fue discutida en el epígrafe 3.6 y (**r**), se explica más adelante. Como calor de combustión del material combustible (**H**) se utilizó 16 720 kJ.kg⁻¹, siguiendo a Batista (1995).

El calor liberado por unidad de área se estimó con la ecuación 8 (Rothermel y Deeming, 1980).

$$Ha = \frac{I}{r} \quad (8)$$

Donde:

Ha : Calor liberado por unidad de área, en kJ.m⁻².

I : Intensidad del fuego, en kW.m⁻¹.

r : Velocidad de propagación en m.s⁻¹.

La longitud de la llama fue estimada por la ecuación 9 la cual fue propuesta por Alexander (1982); citado por Rodríguez (2002).

$$L = 0.0775 * I^{0.46} \quad (9)$$

Donde:

L : Longitud de la llama en m.

I : Intensidad del fuego en kW.m^{-1} .

La velocidad de propagación del fuego se determinó por la ecuación 10.

$$r = \frac{d}{t} \quad (10)$$

Donde:

r : Velocidad de propagación en m.s^{-1} .

d : Distancia del avance del fuego en metros (m).

t : Tiempo de demora del avance del fuego en segundos (s).

Los datos meteorológicos y la previsión del tiempo necesarios para realizar la quema fueron obtenidos en la estación hidrológica Amistad, y en el propio lugar el día de la quema monitoreando cada hora las variables meteorológicas.

3.8. Evaluación de los efectos del fuego sobre algunas propiedades y características del suelo.

Para la evaluación de los efectos del fuego sobre algunas propiedades y características del suelo fueron establecidos cinco puntos de muestreo en cada parcela de $1\,000\text{ m}^2$. En los mismos se abrieron calicatas y se colectaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm. Esto se realizó cinco días antes de aplicar el fuego a las parcelas y una semana, 12

meses y 36 meses después de esto. El análisis químico de las muestras de suelo se realizó en el Laboratorio Provincial de Suelo del Ministerio de la Agricultura en Pinar del Río. Se evaluó: pH por el método potenciométrico; materia orgánica por el método de Tiurin; calcio (Ca) y magnesio (Mg) por el método complexométrico; sodio (Na) y potasio (K) por el método de fotometría de llama, y Fósforo (P_2O_5) por el método de Oniani que se utiliza para suelos ácidos. Los datos se analizaron a través de pruebas de comparación de medias (ANOVA).

A cada muestra de suelo de las diferentes parcelas se les realizó una caracterización química para determinar el contenido de macronutrientes tales como fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio, además el contenido de materia orgánica. Con los datos de la caracterización química realizada se pudieron determinar las relaciones intercaciónica para los cationes de calcio, magnesio y potasio mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 de acuerdo con el MINAGRI (1984).

$$\frac{Ca}{K + Mg} \quad (11)$$

$$K / Mg \quad (12)$$

$$K / Ca \quad (13)$$

$$Ca / Mg \quad (14)$$

El valor de la densidad real del suelo se obtuvo aplicando la ecuación 15 (Martín y Cabrera, 1987).

$$Dr = \frac{m}{(m + A) - B} \quad (15)$$

Donde:

Dr =densidad real

$m = 10$ g de peso de la muestra de suelo seco

A = masa del picnómetro con agua (g)

B = masa del picnómetro con agua y suelo hervida (g)

La densidad aparente se determinó por método del cilindro, rellenando este de las distintas muestras de suelo, se pesa el cilindro primero sin el suelo y después con este. Después se utiliza la ecuación 16.

$$Da = \frac{m}{v} \quad (16)$$

Donde:

m = masa del suelo seco (g)

v =volumen del cilindro (cm³)

La porosidad resulta ser el volumen sumario de los suelos dependiendo de la composición química y mecánica de los agregados y de la estructura del suelo (Alonso *et al.*, 1979), y se determinó por la ecuación 17.

$$P_{Total} = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \quad (17)$$

Donde:

Da = densidad aparente del suelo.

Dr = densidad real de la fase sólida.

3.9. Evaluación de los efectos del fuego sobre la vegetación.

Para evaluar los efectos del fuego sobre la vegetación se consideraron varios parámetros ecológicos, es decir: la riqueza florística, modelo de abundancia y índice de diversidad (usando el índice del Shannon-Weaver). Además, la forma de vida Raunkaier (1934) y estrategias reproductivas, considerando las plantas que se propagan por semillas, por rebrotes y ambas. Para la evaluación de la diversidad florística se instalaron cinco parcelas permanentes de 10 X 10 m (100 m²) distribuidas en las tres parcelas de 1 000 m². Determinando el área mínima, dando como resultado 100 m², coincidiendo con Samek (1973) y Bonilla y Navarro (1987), que plantean la relativa pobreza florística de este tipo de vegetación y la estructura simple de los pinares.

Cada parcela se subdividió en subparcelas de 1 x 1 m. Se identificaron y cuantificaron todos los individuos de las plantas vasculares presentes en la unidad muestreada. Para la identificación nos auxiliamos de la experiencia de diferentes profesionales y de los diferentes tomos de la flora de Cuba (Alain, 1964 y 1974). Se observó y anotó el hábito de crecimiento de cada una de las especies presentes, y se determinó la cobertura de cada una de las especies con relación a la parcela antes y después de efectuada la quema prescrita. De esta forma se hicieron los correspondientes listados florísticos con los cuales fue posible calcular los índices de diversidad de especies de Margalef, Shanon – Weaner, Berger – Parker y de equitatividad, de acuerdo con las ecuaciones 18, 19, 20 y 21.

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (18)$$

Donde:

D_{Mg} : Índice de Margalef

S : Número de especies

N : Número total de individuos

$$H' = -\sum p_i * \ln p_i \quad (19)$$

Donde:

H : Índice de Shannon - Weaver

$P_i = n_i / N$: Valor de importancia (número de individuos de la n -ésima especie entre el número total de individuos)

N_i : Número de individuos de la especie i .

N : Número total de individuos de la muestra.

$$D = \frac{N_{\max}}{N} \quad (20)$$

Donde:

D : Índice de Berger – Parker

N_{\max} = Número de individuos de la especie más abundante.

N = Número de individuos.

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (21)$$

Donde:

J : Índice de equitatividad

H' : Índice de Shannon - Weaver

S : Número de especie de la muestra.

El efecto de la quema prescrita sobre la germinación de las especies vegetales en los diferentes estratos se evaluó a la semana, al mes y a los dos meses después de ejecutada la quema.

Igualmente se determinaron las curvas de abundancia de especies y se determinó el modelo que mejor explica la estructura como indicador de diversidad en la comunidad antes y después de la quema prescrita.

Para determinar los diferentes índices de diversidad de especies, así como el modelo de abundancia de especies se utilizó el Programa BioDiversity Professional Ver. 2. 19 y el programa Microsoft EXCEL ver. 2000.

3.10. Factibilidad de la aplicación de la quema prescrita.

Debido a que son tantos y tan variados los efectos que provocan los fuegos, resulta difícil poder cuantificarlos en su totalidad, motivo por el cual se han desarrollado metodología en Cuba y en otros países que estiman sólo las pérdidas directas producidas que son posibles cuantificar, planteando unos especialistas que el valor de las pérdidas indirectas es cuatro o siete veces mayor que el de las pérdidas directas calculadas (Oharriz, 1991) y otros que pueden llegar a ser hasta 10 veces mayores (Soares, 1985). En la actualidad para estimar las pérdidas indirectas se utilizan ecuaciones que consideran distintos factores en dependencia del tamaño del incendio, la pendiente del

terreno, la estructura de la vegetación, el tiempo de recuperación de la cobertura vegetal y el porcentaje de daños a la cubierta vegetal.

El efecto económico, siguiendo lo apuntado anteriormente estará referido a la estimación de las pérdidas directas que provocan la posible ocurrencia y propagación de un incendio forestal y a la posible reducción de las mismas, según se aborda a continuación:

a) Estimación de las pérdidas directas.

En Cuba desde la década del `80 y hasta el año 2001 como parte del Acta de Incendios que debe llenarse para cada uno de ellos, se utilizó una metodología que tenía en cuenta según Ramos (1990) indicadores tales como: gastos por reforestación, gastos por m³ de madera afectada, gastos por limpieza del área y gastos en acciones de lucha. Esto ha permitido contar con estadísticas sobre esta problemática en virtud de las que ha sido posible estimar durante periodos de años el valor monetario promedio por hectárea de las pérdidas directas producidas. Con base a lo anterior Oharriz *et al.*, (1990) plantean que en cada hectárea afectada por incendio se pierden como promedio 2 000,00 pesos.

Actualmente se utiliza para estimar las pérdidas provocadas por un incendio forestal una metodología (CGB, 2005) que además de tener en cuenta las pérdidas directas por reforestación, por madera talada y en pie afectada, por productos no madereros afectados y por extinción, tiene en cuenta las pérdidas indirectas utilizando distintos factores. También se están introduciendo los temas daños a la propiedad y la estimación de la cantidad de gases emitidos a la atmósfera debido a los incendios forestales. Esta metodología se comenzó a

aplicar en el 2005, por lo que hasta este momento se cuenta con poca información sobre su aplicación práctica.

Según Ramos (1999) es conveniente utilizar el valor de 2 000,00 pesos con vistas a obtener el efecto económico que proporcionaría la aplicación de esta investigación.

b) Reducción de las pérdidas.

La utilización de las quemas prescritas en bosques de *Pinus tropicalis* con vistas a reducir el riesgo de surgimiento y propagación de los incendios forestales, brinda las oportunidades siguientes:

- Debido a que se reduce considerablemente el material combustible disponible en estos ecosistemas, será posible eliminar uno de los componentes necesarios del triángulo del fuego reduciendo las posibilidades de surgimiento del fuego y además, romper fundamentalmente la continuidad horizontal del material combustible con lo que se dificultaría la propagación del fuego.
- Por razones obvias, no se utilizaría la quema prescrita en todas las áreas ocupadas por el *P. tropicalis*. Esta técnica de manejo de combustibles se utilizaría en zonas de alto riesgo de surgimiento como pueden ser las orillas de caminos y carreteras de excesivo tráfico de personas y también para dividir extensiones grandes de terreno, siempre en fajas de unos 100 ó 150 metros, las que se constituirían en cortafuegos, que en caso de ocurrir un incendio, serían utilizadas para anclar en ellas líneas de defensa, para trasladar las brigadas y algunos medios y herramientas con facilidad e iniciar a partir de ellas contracandelas o contrafuegos. De esta forma se incrementaría la

efectividad de las acciones de extinción con la consiguiente reducción de las áreas afectadas por el fuego.

Según el análisis anterior puede considerarse que por concepto de la utilización de las quemas prescritas en bosques de *P. tropicalis*, se va a evitar al menos la afectación del 5 % del área que como promedio es afectada por el fuego cada año.

Finalmente, para obtener el efecto económico, deben multiplicarse los 2 000,00 pesos que como promedio se pierden por cada hectárea afectada, por el número de hectáreas que ahora se dejarán de afectar (el 5 % de la media anual). A este valor se debe restar el costo de la ejecución de la quema prescrita. El resultado es la cantidad monetaria que se dejaría de perder cada año.

Para obtener el costo por la ejecución de la quema puede considerarse la ficha de costo zonal de la E.F.I. La Palma, la que contempla los costos para las operaciones de quema, asignándole a las actividades de chapea preparatoria 76,57 pesos por hectárea, a la construcción de trochas 14,54 pesos por hectárea y la aplicación de fuego 64,01 pesos por hectárea, para un total de 155,12 pesos por hectárea.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Plan de quema prescrita.

4.1.1. Selección de la época para la ejecución de la quema prescrita.

Para seleccionar la época de ejecución de la quema prescrita se analizaron varios factores climáticos de la región. Heikkilä *et al.*, (1993), plantean que las condiciones climatológicas determinan el comportamiento del fuego, destacándose dentro de estos a las variables precipitación, viento, temperatura y humedad relativa.

En el caso de la precipitación se confeccionó una serie de climodiagrama con los datos meteorológicos de la Estación Hidrológica “Amistad” ubicada próximo al área de estudio, de los años 2000 y 2001 (Figura 3). Como se puede observar, la época de menor precipitación en esta zona estaría comprendida de noviembre a abril.

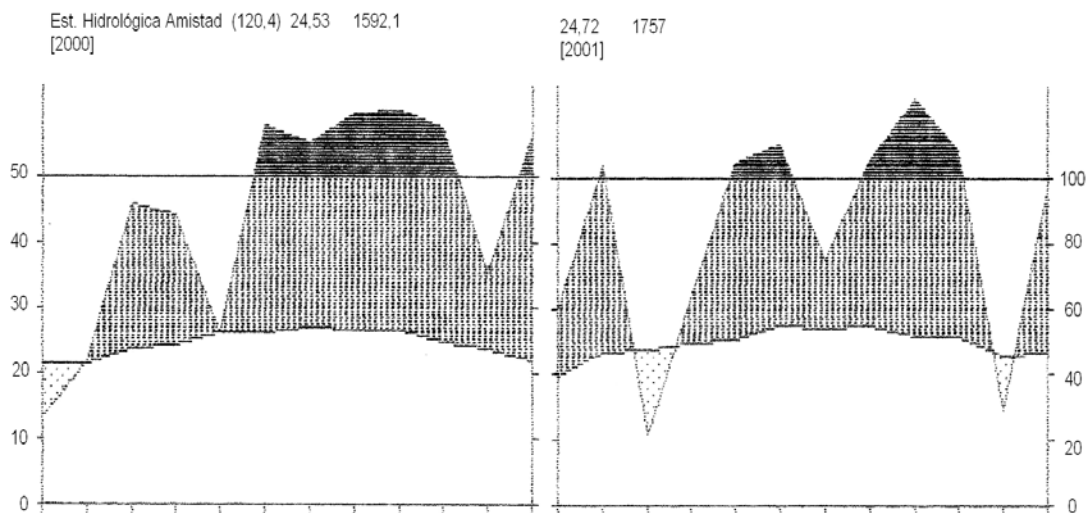


Figura 3. Series de climodiagrama de los datos meteorológicos Estación

Hidrológica Amistad, Galalón, de los años 2000 y 2001.

Las quemadas prescritas no pueden realizarse durante aquellos meses del año cuando no llueve o cuando llueve excesivamente. Deben realizarse durante la época del año que exista una alta probabilidad de que después de una lluvia ligera (menos de 10 mm), sucederá un periodo corto sin lluvia.

En cuanto a la dirección del viento Lopetegui *et al.*, (1996) plantean que en la provincia de Pinar del Río existe durante todo el año un predominio de los vientos de región este, sobre todo en la vertiente sur y hacia zonas del centro - oeste del territorio. En algunos casos, como ocurre en las alturas pizarrosas de la Sierra de los Órganos. Estos vientos penetran con una componente algo más del SE. En la vertiente norte la componente predominante es de ENE. El promedio de la velocidad del viento oscila entre 7 km.h⁻¹ en agosto y 12,05 km.h⁻¹ en marzo. Valores similares fueron observados en el área del experimento durante diferentes mediciones realizadas.

La temperatura es otro factor básico del clima que debe tomarse en consideración. La misma determina el estado del combustible forestal, siendo su principal efecto el secado del mismo, teniendo un efecto muy directo sobre los combatientes (Heikkilä *et al.*, 1993). De acuerdo con la Figura 4 durante los meses de noviembre a marzo la temperatura promedio oscila entre los 20 y 25 °C para la región.

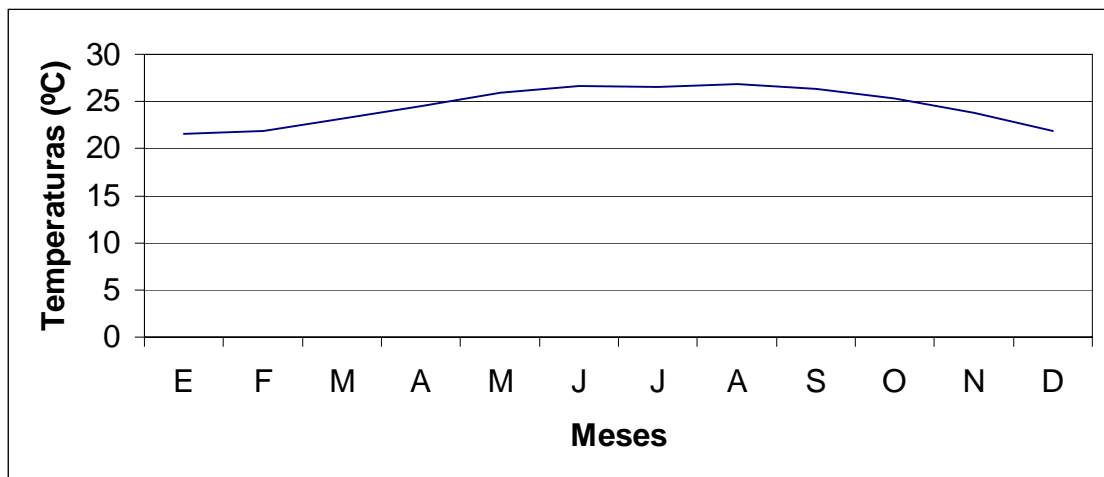


Figura 4. Promedio mensual de las temperaturas durante el periodo 1975 – 1996.

Otro factor es la humedad relativa, un indicador del porcentaje de saturación del aire a una temperatura determinada. Por esto, si la humedad relativa es alta esto significa que hay un alto contenido de humedad en el aire, lo que aumenta el contenido de humedad del combustible (Heikkilä *et al.*, 1993). En la Figura 5 se observa que los valores promedios para la región oscilan entre 75 y 82 %, aspecto a tener en cuenta en el momento de planificar una quema prescrita, ya que el contenido de humedad de los combustibles finos y muertos reaccionan rápidamente a los cambios de la humedad relativa del ambiente.

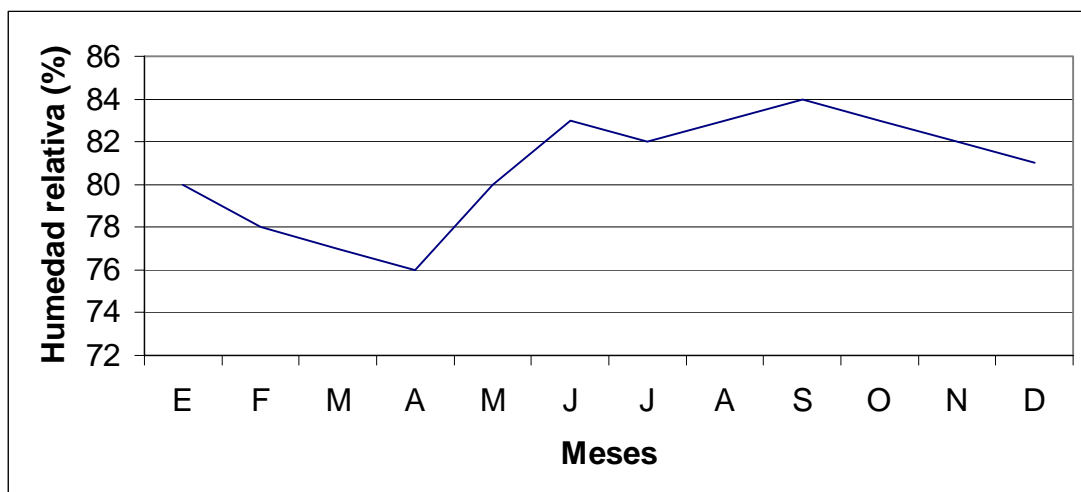


Figura 5. Promedio mensual de la humedad relativa para el periodo 1975 – 1996.

Después de analizar todas estas variables meteorológicas se consideró que la quema prescrita debía realizarse entre los meses de diciembre a febrero. A partir de este último mes comienza la época de incendios forestales por lo que si se realizan quemas prescritas se puede correr el riesgo de que la misma salga fuera de los límites de control. Este resultado coincide con Brown y Davis (1973), que recomiendan las quemas en el hemisferio norte, entre diciembre y marzo, en condiciones de uno a tres días sin lluvias y con vientos de dirección norte entre 4,8 y 16 km.h⁻¹, como los mejores.

4.1.2. Prescripción.

Para la elaboración del plan de quemas prescritas se tuvieron en cuenta trabajos realizados en Centroamérica, sur de los Estados Unidos de América y Brasil entre otros, además de considerar las regulaciones de la Ley Forestal de Cuba.

En el anexo 2 se muestran las prescripciones realizadas para la quema en bosques naturales de *P. tropicalis*, estas coinciden con lo planteado por Nájera (2000) y TNC (2005). En el momento de realizar un plan de quema prescrita, antes de efectuar la quema se explicó el plan de quema a todos los participantes, se comprobó el pronóstico del tiempo con los instrumentos manuales en el área, se comprobó la humedad de los combustibles y se realizó una quema de prueba para observar el comportamiento del fuego.

Al terminar las labores se comprobó que el fuego ha sido liquidado completamente y no quedaron puntos calientes en el área como posibles lugares donde se pueda reiniciar, además quedó vigilancia en la zona y al otro día por la mañana se continuaron los trabajos de vigilancia y liquidación, en horas de la tarde se concluyeron todas las actividades después de comprobar que ya no existían ningún tipo de riesgo en la zona de estudio.

Entre los parámetros más importantes a la hora de realizar una prescripción se encuentra la intensidad del fuego, la velocidad de propagación y la longitud de las llamas.

4.1.3. Técnica de quema utilizada.

Las técnicas de quema utilizadas fueron en retroceso para las parcelas 2 y 4 y a favor del viento o frontal para la parcela 3. Para el encendido se empleó una antorcha de goteo y fueron ubicados alrededor del perímetro los miembros de la brigada profesional de prevención y combate a los incendios forestales del circuito. La Palma.

La quema fue realizada el 9 de enero de 2002, después de un periodo sin lluvia de cinco días, comenzando los trabajos a las 14:30 horas y terminando los mismos alrededor de las 17:20 horas.

La humedad relativa y la temperatura del aire el día de la quema prescrita experimental se muestran en la Figura 6. Estos parámetros están dentro del rango admisible para realizar una quema prescrita según Batista *et al.*, (2000).

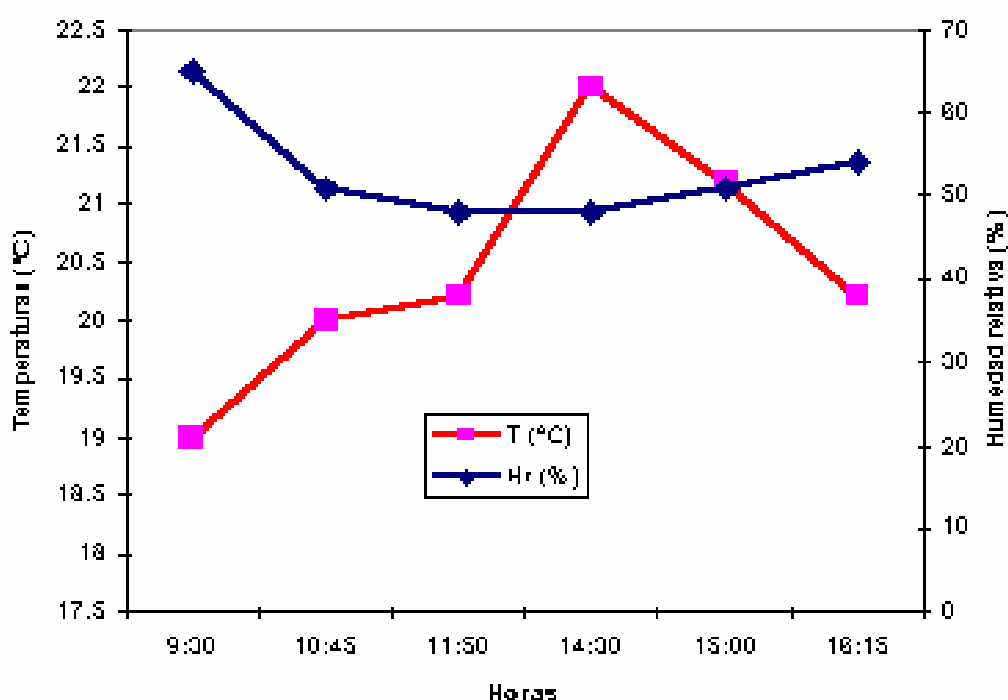


Figura 6. Variación de la humedad relativa y la temperatura del aire durante las quemas.

4.1.4. Estimación de la cantidad de material combustible disponible antes y después de la quema.

En las áreas de las quemas experimentales los combustibles fueron principalmente gramíneas y dicotiledóneas herbáceas, con cobertura del 100 %

y altura media de 1,40 m, así como hojarasca, acículas y otros materiales en descomposición, como se puede observar en la figura 7.



Figura 7. Área experimental antes de aplicar la quema prescrita.

Procediendo de acuerdo con lo descrito en el epígrafe 3.6 se obtuvo un tamaño de muestra de 19,61 parcelas de 1 m², lo cual se aproximó a 20.

El peso seco medio del material combustible, por clase y total, se muestra en la tabla 3. Como se puede observar, el material verde representa el 20,8 % del peso total, lo cual constituye un elemento a tener en cuenta a la hora de realizar quemas prescritas, porque es un elemento importante en la

propagación vertical del fuego, contribuyendo a formar una “escalera” mediante la cual el fuego puede alcanzar las copas de los árboles.

Tabla 3. Peso seco del material combustible por unidad de área (g.m^{-2}).

Clase de material	N	Peso (g.m^{-2})	%	Desviación Std.
Verde	20	324,33	20,83	66,0412
Misceláneas	20	1088,75	69,86	101,3269
Clase 1	20	21,33	1,36	6,7704
Clase 2	20	123,93	7,95	20,9741
Total		1558,34	100	

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, donde el fuego se puede propagar con facilidad.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Batista (1995) y Grodzki (2000) en quemas prescritas experimentales donde la mayor cantidad de material corresponde a las misceláneas. Este resultado influye, según Bittencourt (1990) 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.

De acuerdo con Soares (1985), corresponde al material combustible disponible aproximadamente el 70 – 85 % de la cantidad total de combustible con diámetro inferior a 2,5 cm.

Sackett (1980), encontró resultados semejantes al analizar las clases de material combustible en plantaciones de *Pinus ponderosa*: 76 % para acículas, 11 % para la clase 1; 8,2 % para la clase 2 y 5,07 % para la clase 3. 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 1 representaban menos del 1 % del peso total de los combustibles en todas las localidades, la clase 2 y la 3 contribuían con menos del 4 % y las camadas de acículas aportaban entre 62 y 84 % del peso total.

La cantidad de material combustible influye en la propagación del fuego y determina la cantidad de calor que será liberada en la quema. Conforme a Wright *et al.*, (1979), citado por Anderson y Brown (1988), debe existir un mínimo de 1,235 ton.ha⁻¹ de material fino, seco y disperso en un área para que un incendio superficial se pueda propagar.

En la tabla 4, se presentan los valores obtenidos para el peso seco del material combustible disponible antes de la quema, en cada una de las parcelas, de acuerdo a la clasificación utilizada. Las muestras del material combustible seco colectado antes de la quema alcanzan para las parcelas 2, 3 y 4, totales de 0,97; 1,49 y 1,29 kg.m⁻² respectivamente, de acuerdo con Julio (1996), los mismos pueden clasificarse entre bajos y medios.

Tabla 4. Peso seco en g.m^{-2} del material combustible disponible antes de la quema por parcela y clases de combustible.

MATERIAL COMBUSTIBLE (g.m^{-2})				
Clases	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Media
Verde	285,1	154,2	94,2	177,8
Misceláneas	535,9	1 282,9	1 039,1	952,6
Clase I	6,4	27,9	20,6	18,3
Clase II	63,5	68,1	186,6	105,6
Total	890,9	1 533,1	1 340,7	1 254,9

En la figura 8, se puede observar que las cenizas presentes en las parcelas quemadas tienen un color oscuro, esto demuestra que la combustión no fue completa, proceso que favorece la permanencia de residuos orgánicos en la capa superficial del suelo contribuyendo al aumento de los elementos nutritivos del suelo.



Figura 8. Área experimental después de aplicar la quema prescrita.

La tabla 5 muestra el peso seco del material combustible por clases, después de la quema. Se puede observar que después de la quema se logró una reducción del peso seco del material combustible de un 87,8 %. La mayor reducción se obtuvo en la clase de material combustible verde con el 100 %, producto de la deshidratación de las hojas causadas por los gases calientes y las altas temperaturas. Las misceláneas se redujeron en un 98 %, por ser el material más fino y de fácil propagación del fuego.

Tabla 5. Peso seco en g.m^{-2} del material combustible después de la quema por parcela, clases de combustibles y reducción alcanzada.

Clases	MATERIAL COMBUSTIBLE (g.m^{-2})				Reducción (%)
	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Media	
Verde	-	-	-	-	100
Misceláneas	7,6	16,4	21,4	15,13	98,4
Clase I	3,4	7,4	15,0	8,6	53
Clase II	21,25	67,5	40,0	42,92	59,4
Total	32,25	91,3	76,4	66,65	87,8

Sakett (1980), obtuvo en plantaciones de *Pinus ponderosa* una reducción del material combustible total entre un 43 y un 65%. Por otra parte Goldammer (1982), obtuvo reducción del 48 % del material combustible depositado en el piso de una plantación de *Pinus elliottii* en Paraná, utilizando quema controlada de baja intensidad. Por su parte Batista (1995), logró reducir el material combustible en plantaciones de *Pinus taeda*, entre 17 y el 53 %, utilizando quemas controladas a favor y en contra del viento respectivamente.

El alto porcentaje de reducción obtenido en esta investigación puede deberse al alto porcentaje de combustible correspondiente a las misceláneas, combustibles que en el momento de ejecutar la quema tenían un bajo porcentaje de humedad.

En la tabla 6 se muestra la espesura del mantillo en (cm) antes y después de la quema en cada una de las parcelas. Puede observarse que la reducción lograda alcanzó un valor promedio del 66 por ciento, con una profundidad media después de la quema prescrita de 3,30 cm.

Tabla 6. Medias de espesura total (cm) del mantillo antes y después de la quema.

Espesura del mantillo (cm)			
Parcelas	Antes de la quema	Después de la quema	%
2	11	3,01	72,6
3	11,63	3,2	72,47
4	7,95	3,7	53,46
Media	10,19	3,30	66,17

Estos resultados son similares a los obtenidos por autores tales como: Groski (2000), Batista (1995) y Vega *et al.*, (2000), quienes reportan reducciones del mantillo de un 92,7 % en áreas naturales de *Mimosa scabrella* Benth. (bracatinga), un 30 % en plantaciones de *Pinus taeda* y una reducción de la hojarasca de más del doble en pinares de Galicia, España, en la primera aplicación del fuego prescrito respectivamente. Esto se debió al menor contenido de humedad del mantillo. No obstante, la exposición del suelo mineral fue muy reducida, ya que al mes de haber realizado las quemas, comenzó la regeneración de las especies que componen el estrato herbáceo.

4.2. Comportamiento del fuego.

Los valores correspondientes al comportamiento del fuego se observan en la tabla 7. Wade (1986); citado por De Ronde *et al.*, (1990), describen niveles de intensidades asociados con el comportamiento del fuego para auxiliar los

planes de quemas prescritas en poblaciones de *Pinus elliottii* en el sur de los EUA. Según estos autores 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 sobrepasar las 165 kcal.m⁻¹.s⁻¹. Comparando los resultados de la tabla 7 con estos valores lo podemos clasificar de la forma siguiente: las parcelas dos y cuatro de óptima variación y la parcela número tres como la de límite máximo de intensidad de quema.

De acuerdo con Brown & Davis (1973), los incendios pequeños difícilmente exceden niveles de intensidad de 2 000 kW.m⁻¹, mientras que en los incendios de gran magnitud pueden traspasar valores de 60 000 kW.m⁻¹.

Tabla 7. Parámetros del comportamiento del fuego.

Parcelas	I (kW.m ⁻¹)	r (m.s ⁻¹)	Ha (kJ.m ⁻²)	L (m)
2	151,9	0,0102	14 872,5	0,78
3	1 340,4	0,0524	25 580,1	2,12
4	128,4	0,0061	21 049,1	0,74

Julio y Giroz (1975), realizaron diversos experimentos con quemas controladas en plantaciones de *Pinus sp.* en Valdivia, Chile, variando la intensidad del fuego en estas quemas entre 18 y 450 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

Kauffman y Martin (1989), obtuvieron valores de intensidades muy variables, desde 3,32 kcal.m⁻¹.s⁻¹, hasta 36,33 kcal.m⁻¹.s⁻¹, en bosques mixtos de coníferas. Burrows *et al.*, (1989), en quemas experimentales en plantaciones de *Pinus radiata* en Australia, obtuvieron intensidades de fuego entre 4,78 y

144 kcal.m⁻¹.s⁻¹; mientras que Batista (1995), logró intensidades de fuego para plantaciones de *Pinus taeda* entre 2,88 y 25, 22 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

El alto valor de intensidad obtenido en la parcela 3 puede deberse a la cantidad de material combustible disponible en la misma y la influencia de la velocidad del viento a la hora de aplicar la quema prescrita.

El calor liberado en cada una de las parcelas quemadas fue relativamente alto en comparación con resultados obtenidos por Batista (1995). Influyendo directamente la cantidad de material combustible disponible y la intensidad del fuego.

La longitud de la llama en cada una de las parcelas presenta valores relativamente bajos al compararlos con otros autores, excepto en la parcela número 3, donde influyó la velocidad del viento y la cantidad de material combustible, que fue mayor que en el resto de los tratamientos. Flores y Benavides (1994), alcanzaron valores de altura de la llama de 0,5 m para quemas en retroceso y hasta 5 m para quemas en avance, para bosques de pinos en Jalisco. Por otra parte Vega *et al.*, (2000), obtuvieron longitud de llama entre 0,30 a 1,50 metros en pinares de Andalucía y Galicia, en España.

Botelho y Cabral (1990), establecieron una clasificación para determinar la velocidad de propagación del fuego. Según la misma la velocidad es lenta cuando es menor de 0,033 m.s⁻¹, media cuando está entre 0,033 y 0,166 m.s⁻¹, es alta entre 0,166 y 1,166 m.s⁻¹ y es extrema cuando es mayor de 1,166 m.s⁻¹. Teniendo en cuenta esta clasificación puede afirmarse que en la parcela tres la velocidad de propagación del fuego fue media y en las parcelas 2 y 4 lenta.

Por otra parte Batista (1995), obtuvo valores similares a los obtenidos en esta investigación para la velocidad de propagación en plantaciones de *Pinus taeda*

para las quemas a favor del viento, que normalmente representan una mayor velocidad debido a la influencia del viento. Johansen (1975), encontró velocidades entre 0,0762 y 1,09 m.s⁻¹ en quemas a favor del viento en plantaciones de *Pinus elliottii*. Por otra parte Wade y Lunsford (1989), afirman que las quemas contra el viento avanzan con velocidades entre 0,0056 y 0,0167 m.s⁻¹, con lo cual coinciden los resultados obtenidos.

4.3. Evaluación de los efectos del fuego sobre algunas propiedades y características del suelo.

El fuego introduce efectos negativos y positivos sobre las propiedades de los suelos. La magnitud de estos efectos depende fundamentalmente de los valores que muestren las variables del comportamiento del fuego tales como su intensidad lineal, la velocidad de propagación y el calor liberado por unidad de área. Las magnitudes de estas variables dependerán de factores como el combustible, la topografía y el tiempo atmosférico (Martínez *et al.*, 2004).

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

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

En la tabla 8 se observan los valores de pH, a diferentes profundidades, antes y después de la quema, los cuales pueden clasificarse de ácidos MINAGRI

(Ministerio de la Agricultura) (1984), observando que en los primeros años después de realizada la quema los mismos se mantuvieron sin alteración, no así a los 36 meses en que aumentan significativamente. Esto puede estar dado, por la acumulación de bases a estas profundidades debido a la descomposición de los restos vegetales y la humedad del suelo, además de la acción de la fauna microbiana del suelo que se estimula por las altas temperaturas.

Coincidiendo con estos resultados Vega *et al.*, (2000), encontraron cambios significativos del pH en quemas prescritas en *Pinus pinaster* en Galicia y Andalucía, a los dos años de efectuada la quema. También Soares (1985), plantea que la acidez fue reducida de dos a tres unidades de pH, después de la quema regresando a la normalidad cinco años después de la misma.

Contrario a lo anterior Soares (1990) y Batista (1995), obtuvieron incrementos no significativos para los valores de pH de 4,21 a 4,33, en profundidades de hasta 10 cm, en plantaciones de *Pinus taeda* y de 3,98 a 4,13 para *Pinus caribaea*. Por otra parte Benítez (2003) y Martínez *et al.*, (2003), encontraron diferencias significativas 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.

Los valores de pH no fueron prácticamente modificados por el fuego, y solamente se detectó un incremento a los tres años. Diversos autores (De Bano y Conrad, 1978; Díaz-Fierros *et al.*, 1982; Stednick *et al.*, 1982; Wilbur y Christensen, 1983), citados por Marcos *et al.*, (1999), señalan que en quemas de baja intensidad no se detectan variaciones de pH o, si se detectan, estas son muy pequeñas.

De acuerdo con Wells (1979), la acidez en las camadas superficiales del suelo es reducida por la quema, como un resultado de la liberación de los cationes básicos por la combustión de la materia orgánica y los minerales. El pH en el suelo es elevado temporalmente dependiendo de la cantidad de cenizas liberadas, del pH original, de la composición de las cenizas y de la humedad local.

Tabla 8. Valores de pH, fósforo (P_2O_5) y potasio asimilable (K_2O) a diferentes profundidades de suelo, antes y después del fuego.

Factores	Profundidad (cm)	Antes de la quema	Después de la quema		
		2002	7 días	12 meses	36 meses
pH (Clk)	0-10	3,63 b	3,66 b	3,65 b	3,9 a
	10-20	3,73	3,64	3,73	3,76
P_2O_5 (mg/100 g)	0-10	0,85	0,71	1,50	2,00
	10-20	0,56 b	0,73 b	1,00 b	1,33 a
K_2O (mg/100 g)	0-10	5,90	6,00	5,91	7,21
	10-20	4,40	5,67	3,29	5,32

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre si por la prueba de Duncan $p>0,05$

Los valores promedios del fósforo asimilable presentaron un incremento significativo después del fuego en las muestras tomadas a las dos profundidades. Debido a la acidez del suelo, los hidrógenos se unen a los

cationes fosfatos, formando fosfatos monovalentes, que según Vázquez y Torres (2000), es la forma más asimilable del fósforo.

Esto concuerda con resultados obtenidos por De las Heras *et al.*, (1995) en pinares de *Pinus halepensis* después de 3 – 5 años del paso del fuego y Marcos *et al.*, (1999), que encontraron ligeros incrementos no significativos en rodales de *P. radiata* en Asturias. Por otra parte Hernández y López (2000) encontraron disminución del fósforo por quemas en vegetación de una sabana de *Trachypogon*. Martínez *et al.*, (2003), encontraron diferencias significativas para los valores de fósforo asimilable en la solución del suelo desde 1,73 antes del incendio hasta 2,60 a los tres años de haber ocurrido el mismo, en bosques naturales de *P. caribaea* y *P. tropicalis* en Macurijes, Pinar del Río.

Los valores promedios del potasio presentaron ligeros aumentos principalmente a los 36 meses después de realizado el fuego, pero no resultaron significativos, Hernández y López (2000), encontraron reducción de este elemento en sabanas quemadas en Venezuela.

En la tabla 9 se presentan los valores promedios de la cantidad de materia orgánica, la suma de las bases, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de las bases para diferentes profundidades en suelos quemados y no quemados en bosques naturales de *Pinus tropicalis*.

En el caso de la materia orgánica (MO) se observa que la quema provocó alteraciones estadísticamente significativas en la misma, al año y a los tres años de aplicada. Inmediatamente después de realizar la quema la MO no disminuye significativamente, pero al transcurrir 12 meses de efectuada, los valores disminuyen significativamente para ambas profundidades, probablemente debido al consumo de la misma por el fuego y por los

microorganismo del suelo, además de ser muy lento el proceso de descomposición de las acículas por su alto contenido de lignina.

Tabla 9. Valores promedios de materia orgánica (MO), suma de bases (S), capacidad de intercambio catiónico (T) y el porcentaje de saturación de las bases (V).

Factores	Profundidad (cm)	Antes de la quema	Después de la quema			
		2002	7 días	12 meses	36 meses	
MO (%)	0-10	3,36 b	3,28 bc	1,90 c	4,21 a	
	10-20	3,21 a	3,17 a	1,70 b	3,4 a	
S (meq/100g de suelo)	0-10	1,11	1,08	1,11	1,00	
	10-20	1,13	1,47	0,72	0,85	
T(meq/100g de suelo)	0-10	5,19 a	5,24 a	3,30 b	4,04 b	
	10-20	5,17 a	5,42 a	2,82 c	3,76 b	
V (%)	0-10	21,38	20,61	33,63	24,75	
	10-20	21,85	27,12	25,53	22,60	

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre si por la prueba de Duncan $p>0,05$

A los 36 meses de aplicada la quema esta se recupera y se observan valores superiores a los existentes antes de realizar el fuego, como consecuencia de la acumulación de los diferentes restos vegetales.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Covington & Sackett (1984), en poblaciones de *Pinus ponderosa* en San Francisco, EUA (Estados Unidos de América) quienes observaron una reducción del 63 % de la materia orgánica después de aplicar quema controlada.

Por su parte De Las Heras *et al.*, (1995), observaron incrementos significativos a través del tiempo (65 meses) de la materia orgánica en suelos afectados por incendios. Por el contrario Flores y Benavides (1994), observaron incrementos ligeros no significativos de la materia orgánica en los bosques de *Pino michoacana*, (pino-encino y pino con otras hojosas). Contrario a esto, Martínez *et al.*, (2003), encontraron una disminución significativa para los valores de la materia orgánica desde 1,81 antes del incendio hasta 1,48 a los tres años de haber ocurrido el mismo, en bosques naturales de *P. caribaea* y *P. tropicalis* en Macurijes. Pinar del Río, debido al consumo total del arbolado por las llamas del incendio.

La suma de las bases (S) muestra valores muy bajos para estos suelos, pero se encuentra en correspondencia con los bajos contenidos de bases en los mismos debido a su baja fertilidad natural y por tener un suelo extremadamente ácido, no existiendo diferencias significativas entre ellos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es clasificada según MINAGRI (1984) de muy baja. Observando una disminución significativa a los 12 meses de efectuado el fuego, debido principalmente a la disminución de la cantidad de materia orgánica, aunque a los tres años se observa una recuperación, pero sin llegar a los valores iniciales. El hecho de que tuviera una CIC muy baja puede estar relacionado con la dificultad de que se produzca intercambio catiónico en zonas de pH muy ácido (Marcos *et al.*, 1999).

Resultados similares obtuvieron Batista (1995) en plantaciones de *Pinus taeda*. De Las Heras *et al.*, (1995), encontraron una tendencia creciente a lo largo del estudio (65 meses) en vegetación de pinares quemados y sin quemar donde predomina *Pinus halepensis*. Al igual que Marcos *et al.*, (1999), que encontraron incrementos de la CIC después del incendio en la capa superficial en plantaciones de *P. radiata*.

Los valores del porcentaje que las bases representan dentro de la capacidad de intercambio catiónico se pueden considerar bajos de acuerdo con Cairo y Fundora (2000), con incrementos no significativo a partir del primer año de aplicado el fuego en la capa superficial del suelo.

Los diversos cationes intercambiables del suelo representados en la tabla 10, se encuentran de forma deficiente de acuerdo con MINAGRI (1984), tanto antes de la quema, como a los 36 meses de efectuada. Señalando los incrementos significativos de Na^+ y K^+ con el transcurso del tiempo. De Bano (1989), afirma que grandes cantidades de algunos nutrientes, tales como N, S y P pueden ser volatilizados durante un incendio. Cationes tales como Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ , no son volatilizados, sin embargo, pequeñas cantidades podrán ser transferidas del sitio.

Soares (1990), analizando estos elementos (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, y B) en rodales de *P. caribaea*, encontró aumentos en sus concentraciones después de la quema, excepto el Ca^{+2} . Todos los elementos disponibles (mineralizados) aumentaron significativamente en la camada superior del suelo, después del fuego, retornando a los niveles anteriores después de 7 meses.

Maags (1988), evaluó algunos efectos de quema controlada en plantaciones de *Pinus elliottii* en el sudeste de Queensland, Australia. Los resultados demostraron que una única quema controlada redujo hasta el 52 % la biomasa total. La biomasa y las cantidades de N, P, Na y Mg fueron significativamente menores en el piso del bosque quemado hasta 1,5 – 2,5 años después de la quema, más las diferencias declinaron rápidamente, y después de tres años ningún efecto de la quema fue evidente.

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

Tabla 10. Cantidad de cationes intercambiables de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+} , a diferentes profundidades del suelo, antes y después de la quema.

Factores	Profundidad (cm)	Antes de la quema	Después de la quema		
		2002	7 días	12 meses	36 meses
Ca^{+2}	0-10	0,73	0,73	0,57	0,50
(mEq.100 g ⁻¹)	10-20	0,76	0,91	0,34	0,42
Mg^{+2}	0-10	0,23	0,23	0,30	0,19
(mEq.100 g ⁻¹)	10-20	0,25	0,34	0,17	0,16
Na^{+}	0-10	0,03 b	0,02 b	0,08 a	0,08 a
(mEq.100 g ⁻¹)	10-20	0,03 b	0,09 a	0,12 a	0,08 ab
K^{+}	0-10	0,12 b	0,10 b	0,16 b	0,23 a
(mEq.100 g ⁻¹)	10-20	0,09 b	0,13 b	0,09 b	0,19 a

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre si por la prueba de Duncan

p>0,05

Sobre el efecto de quemas prescritas de baja intensidad en algunas propiedades químicas del suelo en bosques de *Pinus hartwegii*. Aguirre (1978) y Aguirre y Rey (1980), citados por Rodríguez (2002) obtuvieron valores de erosión y escorrentía. Ellos refieren para suelos andosoles mólicos, de textura franco arenosa, ricos en materia orgánica, el Ca aumentó del intervalo 1,755 a 3,406 ppm, hasta 2,145 a 3,900 ppm; también refieren aumentos en K, Mg y un ligero incremento en Na. Coincidiendo con los valores obtenidos para K y Na, y no sucediendo lo mismo para el Ca y el Mg que se obtuvieron valores inferiores no significativos.

Rego (1986) y Vega *et al.*, (2000), plantean que teniendo en cuenta los contenidos de materia orgánica se puede inferir la relación C/N, considerando que la misma es poco afectada por el fuego prescrito.

En conjunto se observaron pocos cambios significativos en los parámetros edáficos analizados después de la aplicación del fuego prescrito y la mayoría consistió en un aumento de los mismos.

En resumen, puede señalarse que en los tratamientos de quema se detectan cambios de escasa cuantía. Esto contrasta con los efectos de los incendios en los que suele producirse la destrucción del estrato arbustivo del sotobosque, además de la cubierta muerta del suelo, favoreciendo la lixiviación a través del perfil del suelo, la erosión y las pérdidas por escorrentía entre otros efectos. Estos procesos no se presentaron en la quema prescrita.

4.3.1. Relación entre los nutrientes del suelo.

Los diversos cationes del suelo ejercen acciones recíprocas que, de una manera u otra, redundan en la absorción de los mismos por las plantas. Por

esta causa es que conviene conocer las relaciones existentes, pues rebasados ciertos límites se pueden presentar deficiencias.

En la tabla 11 se observan las relaciones existentes entre algunos de los elementos del suelo. Las relaciones entre Ca/T, y Mg/T, se encuentran entre los rangos admisibles, según MINAGRI (1984), donde los suelos son relativamente pobres. Para la relación Ca/Mg los límites admisibles están dentro de los parámetros recomendados: entre 2:1 y 6:1. La relación K/Mg más adecuada está entre 0,6 y 0,1, no cumpliendo con esta condición los suelos de las áreas quemadas a partir de los 36 meses, esto se debe a deficiencias del Mg en estos suelos.

Tabla 11. Análisis de las relaciones entre los nutrientes del suelo en parcelas quemadas y sin quemar, a diferentes profundidades y años.

	Ca/T	Mg/T	Ca/Mg	K/Mg	K/Ca	Ca/(K+Mg)
Antes de la quema						
0-10 cm	0,140	0,050	3,17	0,521	0,164	2,085
10-20cm	0,147	0,048	3,04	0,360	0,118	2,235
7 días de quemado						
0 - 10 cm	0,139	0,044	3,17	0,434	0,136	2,212
10-20 cm	0,169	0,062	2,67	0,382	0,142	1,936
12 meses de quemado						
0 - 10 cm	0,172	0,091	1,90	0,533	0,280	1,239
10-20 cm	0,120	0,060	2,00	0,529	0,264	1,307
36 meses de quemado						
0-10 cm	0,123	0,047	2,63	1,211	0,460	1,190
10-20 cm	0,112	0,042	2,62	1,187	0,452	1,200

La relación K/Ca, según MINAGRI (1984), debe ser menor que 0.3, encontrándose los valores dentro del rango hasta un año de quemado, a los

tres años supera este valor, por lo que trae trastornos evidentes, por exceso de potasio o deficiencia de calcio, o ambos a la vez. En cuanto a la relación $Ca/K+Mg$ debe mantenerse entre 2 y 6 comportándose los valores de las muestras muy cercanos al valor mínimo antes de quemado, después que se quema este valor continuo disminuyendo y se ha mantenido hasta los tres años, evidenciado un desbalance nutricional en estos suelos.

4.3.2. Densidad y porosidad del suelo.

Las propiedades físicas del suelo junto con las químicas, biológicas y mineralógicas determinan la productividad de estos.

Como se observa en la tabla 12 los valores de densidad real, densidad aparente y porosidad. No presentan diferencias significativas antes ni después de aplicado el fuego, lo cual se corresponde con lo planteado por Lima y Batista (1993) y De Bano (1989), según los cuales las quemas prescritas no son suficientemente intensas para provocar efectos directos sobre la estructura del suelo. Por otra parte Flores y Benavides (1994), encontraron en bosques de pinos una tendencia a una textura más arcillosa, después de cuatro meses de aplicar una quema en avance, pero consideraron que se debió a fuertes precipitaciones después de la misma.

Tabla 12. Valores de densidad y porosidad del suelo a diferentes profundidades, antes y después del fuego.

Factores	Profundidad (cm)	Antes de la quema	Después de la quema		
		2002	7 días	12 meses	36 meses
Dr (g/cm ³)	0-10	2,51	2,52	2,52	2,51
	10-20	2,52	2,53	2,52	2,52
Da (g/cm ³)	0-10	1,25	1,25	1,25	1,26
	10-20	1,25	1,25	1,25	1,26
Porosidad (%)	0-10	50,19	50,39	50,39	49,80
	10-20	50,39	50,59	50,39	50,00

4.4. Los efectos del fuego en la vegetación

4.4.1. Dinámica de la regeneración natural.

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

Los bosques de pinos de Pinar del Río, representan uno de los tres centros distintivos de diversidad de las plantas y las especies endémicas en Cuba, Davis *et al.*, 1997). Hasta la fecha ningún estudio ha tratado la dinámica de la vegetación después del fuego. Sin embargo pueden encontrarse varios estudios de los efectos del fuego en los bosques tropicales. Estudios de Cochrane *et al.*, (1999), Gerwing (2002), Barlow *et al.*, (2003), Cochrane (2003)

e Ivanauskas *et al.*, (2003), destacan la incidencia e importancia del fuego en la dinámica del bosque en los trópicos. En este sentido, Haberle & Ledru (2001), estudiaron la historia del fuego en varios bosques tropicales de Centro y Sur-América.

Se estudio la vegetación asociada al dosel del pino principalmente las especies de arbusto, hierbas y lianas. Sin embargo, la riqueza florística era significativamente baja. El efecto de fuego en la dinámica de la flora endémica también fue considerado.

Tabla 13. Dinámica de la regeneración y la recuperación de los árboles de pino después de la quema prescrita.

Estrato		16/01/2002 UNA SEMANA después del fuego	20/02/2002 UN MES después del fuego	24/03/2002 DOS MESES después del fuego
Herbáceo		Todo quemado	Regeneración: <i>Andropogon virginicus</i> L. <i>Rhynchospora globosa</i> (H.B.K.) R. & S.	Regeneración: <i>Andropogon virginicus</i> L. <i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don <i>Rhynchospora globosa</i> (H.B.K.) R. & S. <i>Roigella correifolia</i> (Griseb.) Borhidi & Fernández <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K. <i>Mitracarpus glabrescens</i> (Griseb.) Urb. <i>Melochia villosa</i> (Mill.) Fawc. & Rendle
Arbustivo		Todo quemado	Todo quemado	Regeneración: <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K. <i>Cyrilla racemiflora</i> L. <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart. <i>Clusia rosea</i> Jacq. <i>Amaioua corymbosa</i> H.B.K.
Árboreo (<i>Pinus tropicalis</i>)	<i>Plantas afectadas totalmente</i>	0	0	0
	<i>Plantas afectadas parcialmente (menos del 50 %)</i>	12	12	8
	<i>Plantas sanas</i>	55	55	55

En la tabla 13 se presenta cronológicamente el comportamiento por estrato de la regeneración de las especies durante los dos primeros meses después de efectuada la quema prescrita en el bosque de *P. tropicalis*.

Como se observa en la tabla 13, ningún árbol murió como consecuencia de la quema prescrita y solamente el 18% de estos se afectó parcialmente, fundamentalmente en la muerte de las acículas de las ramas más cercanas al suelo producto del calor y se observó carbonización de la corteza en la base del fuste.

A partir del mes de aplicada la quema aparece la regeneración en el estrato herbáceo y a los dos meses varias especies ocupan el estrato arbustivo, por lo que es de esperar una baja afectación a la presencia y diversidad de especies de esta formación de pinar.

En la tabla 14 se listan las especies que se encontraron en los muestreos antes y después de quemar. Se destaca la aparición de 12 especies que no se reportaron en los inventarios antes de la quema, 14 coinciden y siete no aparecieron en los inventarios posteriores.

Mientras que en las áreas quemadas se produce un incremento de la especie *Sorghastrum stipiodes* que se regenera rápidamente después del incendio, coincidiendo con lo señalado por (Blydesteien, 1963; citado por Del Risco, 1989).

Tabla 14. Listados de las especies antes y después del fuego

	Antes de quemar	Después de quemar
<i>Andropogon virginicus</i> L.	+	+
* <i>Byrsonima pinetorum</i> Griseb.	+	+
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K.	+	+
<i>Clidemia hirta</i> (L.) D.Don		+
<i>Clusia rosea</i> Jacq.	+	+
<i>Coccocypselum guianense</i> (Aubl.) K. Schum.		+
<i>Cassytha filiformis</i> L.	+	
<i>Cyrilla racemiflora</i> L.	+	+
<i>Cyathea arborea</i> Smith	+	+
<i>Davilla rugosa</i> Poir.	+	+
<i>Eragrostis cubensis</i> Hitchc.	+	+
<i>Amaioua corymbosa</i> H.B.K.	+	
<i>Matayba apetala</i> (Macf.) Radlk.	+	
<i>Miconia ibaguensis</i> (Wright) D.Don		+
* <i>Miconia delicatula</i> A. Rich.		+
<i>Nephrrolepis acuminata</i> Kuhn.		+
<i>Mesosetum loliiforme</i> (Hachst.) Chase	+	
* <i>Pinus tropicalis</i> Morelet	+	+
<i>Myrica cerifera</i> L.	+	+
* <i>Pithecellobium abovale</i> (A. Rich.) Wr.	+	
<i>Tillandsia flexuosa</i> Sw.	+	
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	+	
<i>Erigeron belliatroides</i> Dc.		+
<i>Melochia villosa</i> (Mill.) Fawc. & Rendle		+
* <i>Mitracarpus glabrescens</i> (Griseb.) Urb.		+
* <i>Odontosoria writghiana</i> Maxon	+	+
<i>Pluchea</i> sp.		+
* <i>Roigella correifolia</i> (Griseb.) Borhidi & Fernández	+	+
<i>Sorghastrum stipiodes</i> (H.B.K.) Nash.	+	+
* <i>Tabebuia lepidophylla</i> (Griseb.) Rich.		+
* <i>Pachyanthus poiretii</i> Griseb.	+	+
* <i>Lyonia mirtylloides</i> Griseb.		+
<i>Rhynchosphora globosa</i> (H.B.K.) R. & S.		+

*Endémicos

4.4.2. Formas de vida y estrategias reproductivas de las especies

La edad de las plantas influye en el comportamiento posterior de la vegetación; las más viejas y vigorosas soportan los incendios y por lo tanto tienen mayor

posibilidad de rebrotar. Se pudo observar que la regeneración de *Pinus tropicalis* resiste el fuego por su gruesa corteza en esa etapa (figura 9). También muestra características pirofíticas *Byrsonima crasifolia*.



Figura 9. Regeneración de *Pinus tropicalis* después de la quema prescrita

La forma de vida de las especies juega un papel importante en la presencia de rebrotes, así los arbustos leñosos y hierbas de penacho presentan mayor capacidad para rebrotar. Los arbustos y hierbas rosetas también soportan los incendios debido a que sus yemas o meristemos apicales quedan encerrados en las hojas exteriores y se protegen de ser quemados totalmente; al contrario las hierbas, arbustos y enredaderas son más vulnerables a las quemas.

El tipo, estructura y la modificación de las raíces posiblemente juegan el papel más importante en soportar incendios, así: las especies con rizoma, como algunas Poaceae (*Andropogon virginicus*) sobreviven porque sus raíces modificadas se encuentran a menos 2-3 cm bajo la superficie del suelo.

Según Aguirre (2000), algunas plantas soportan los incendios y luego rebrotan, lo cual ocurre en especies de arbustos y subarbustos leñosos cuyas raíces leñosas alcanzan considerable profundidad que les permite resguardarse de la acción del fuego. Las especies de la familia Ericaceae en su mayoría soportan los incendios por las características de sus raíces por un lado muy profundas y por otro la presencia de un xilopodio adaptado fisiológicamente para almacenar nutrientes, cuya adaptación juega una función importante en la emisión de nuevos rebrotes que asegura la sobrevivencia, lo cual se pudo corroborar durante la investigación en la *Myrica cerifera*.

Como está demostrado, el fuego juega un importante papel regulador en las sucesiones vegetales, al quedar eliminados los dos estratos inferiores del arbolado, como se mostró en la tabla 13 y 14, se crean condiciones para la colonización de nuevas especies, que es muy probable que estuvieran relegadas por la competencia, sobre todo por la luz. De aquí el hecho de que el 39% de las especies en los inventarios después de quemar no estuvieran en los reportes florísticos de antes de la quema.

Se registraron 21 familias de plantas vasculares. Las familias con mayor número de especies resultaron ser Poaceae cuya diversidad relativa es de 19 %, Melastomataceae 19% y Rubiaceae con 14%.

Los cambios en la vegetación con las formas de vida se observan en la figura 10. En las parcelas antes del fuego, 87% de las especies totales correspondieron a fanerófitas, 9% a las hemicriptofitas el 4% epífitas. Sin embargo, después del fuego las epífitas estuvieron ausentes y las fanerófitas aumentaron (93%). La proporción de fue de 7%.

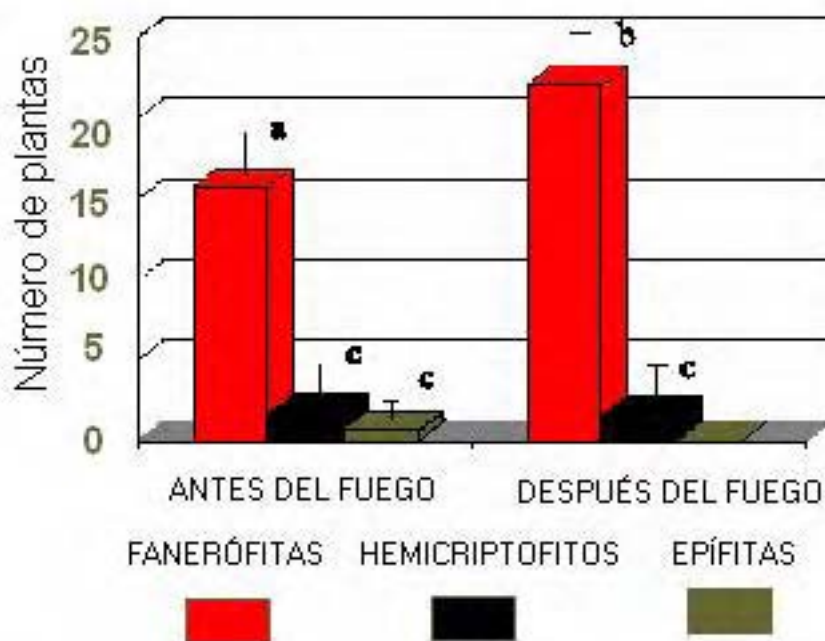


Figura 10. Formas de vida de las especies antes y después del fuego.

(Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$)

Predominan en el área plantas que por sus características fisonómicas se encuentran incluidas dentro del tipo biológico de las fanerófitas, lo que indican condiciones adecuadas para el aumento de la biomasa de las especies típicas en esta área de estudio.

Respecto a la dinámica de las estrategias reproductivas, solamente la regeneración disminuyó significativamente (figura 11). La presencia de

especies con ambas estrategias (semillas y rebrotes) no varía significativamente.

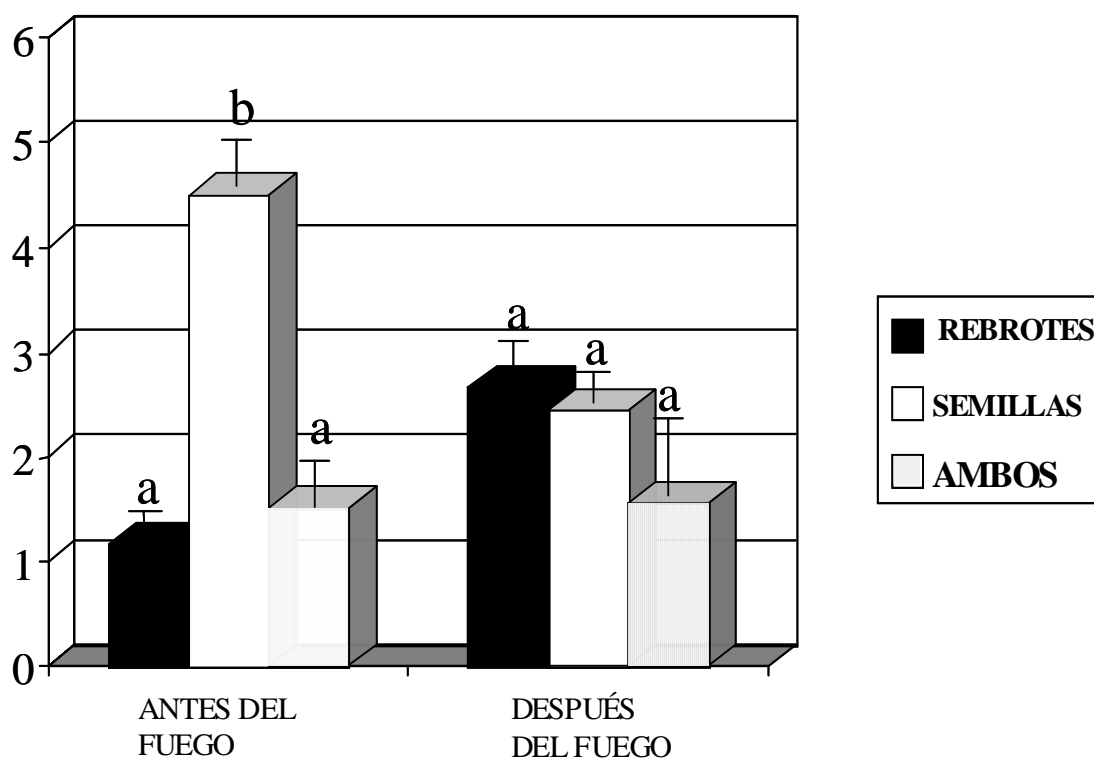


Figura 11. Número promedio de especies registradas antes y después del fuego. Teniendo en cuenta sus estrategias reproductivas.

(Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$)

Las plantas arbustivas más comunes que presentan rebrotes son: *Byrsonima crasifolia* y *Cyrilla racemifolia*, en el caso de los arbustos se encuentran *Roigella correifolia* y entre las hierbas se destaca el *Andropogon virginicus*.

La capacidad de algunas especies para rebrotar después de un incendio forestal depende de la intensidad y frecuencia de los incendios, edad, forma de vida o hábito de crecimiento y modificación de sus raíces. (Aguirre, 2000).

Los efectos de fuego en la dinámica de la vegetación, dependen de varios factores: intensidad de fuego y la frecuencia mostrada como una variable

significativa que actúa en la supervivencia de la regeneración, densidad, mortalidad, altura, área de copa y área basal de los árboles y brotes en los bosques tropicales (Kennard *et al.*, 2002). Por otro lado, la calidad del sitio y estructura de la vegetación y composición antes del fuego tienen que ser consideradas como un factor muy importante para determinar las fases tempranas de sucesión secundaria (Zwolinski 1990; De Bano *et al.*, 1998).

El consumo total de vegetación en el fuego experimental llevado a cabo en este estudio no eliminó mayormente las especies de las comunidades de plantas en la fase temprana de la sucesión. En este sentido, Barlow *et al.*, (2003) notó que árboles sobrevivientes al fuego tenían una corteza significativamente más gruesa que los árboles vivos en las parcelas sin quemar, indicando que árboles con corteza delgada son más propensos a la mortalidad selectiva inducida por el calor. En la zona de estudio, la riqueza florística aumentó y un 50% de especies registradas antes del fuego también se encontraron un año después del mismo.

En este sentido, varias especies endémicas aparecieron por primera vez después del fuego en el área de estudio. Esto puede explicarse por que varios ecosistemas están bien adaptados al fuego De Bano *et al.*, (1998). Las comunidades de especies de planta de post-fuego, por consiguiente, son a menudo similares a comunidades antes del fuego o comunidades que existen en las áreas adyacentes sin quemar (De Bano *et al.*, 1998). El fuego estimula la germinación de semillas que se han guardado en el suelo y puede contribuir a la regeneración de muchas especies.

Respecto a la abundancia y variaciones de diversidad, los valores de diversidad eran bajos y muy diferentes a aquellos obtenidos en los bosques de

pino maduros en otros ecosistemas del clima templado y mediterráneo (Agee, 1998), pero también a aquellos de bosques tropicales (Batista & Maguire 1998; Galindo-Jaimes *et al.*, 2002). Resultados obtenidos en este estudio concuerdan con (Chen y Li, 2004).

En sitios dónde son usados fuegos prescritos para cortar y limpiar, aumentan los valor de diversidad durante las fases tempranas después de estas actividades de la silvicultura, y después de unos años, disminuye los valores ante está perturbación (Lewis *et al.*, 1988).

4.4.3 Índices de Diversidad de Especies

En la tabla 15 se muestran los valores de los diferentes índices de diversidad determinados antes y después de la quema. Como se observa, los índices calculados no difieren tanto, en el caso de la riqueza de especies y la dominancia, aumenta ligeramente después de la quema, las especies pioneras se establecen y aumenta la competencia. Los otros índices son ligeramente superiores antes de la quema.

Tabla 15. Efecto de las quemas prescritas sobre los índices de diversidad

Indice	Antes de quemar	Después de quemar
Margaleff M Base 2,718	6,43	6,56
Berger-Parker Dominancia (d)	0,22	0,24
Berger-Parker Dominancia (1/d)	4,61	4,22
Shannon H' Log Base 2,718	2,46	2,29
Shannon J' (Equitatividad)	0,84	0,79

Antes del fuego, la riqueza media florística era significativamente homogénea en las tres parcelas del estudio (6 ± 1.966). Un total de 33 especies fueron registrada y la más frecuente era el *Pinus tropicalis*, que se presentó en todas las muestras. El dosel arbustivo se representó por la *Cyrilla racemiflora* L. (66.67% de muestras totales), *Amaioua corimbosa* H.B.K. (33.33%), y *Clusia rosea* Jacq. (33.33%) y el helecho arborescente *Cyathea arborea* Smith (33.33%) entre otros. Las especies más abundantes del dosel herbáceo eran los *Byrsonima pinetorum* Griseb. (66.67%, pero presente también en el dosel arbóreo), *Clidemia hirta* (L.) D. Don (50%), *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (50%), *Eragrostis cubensis* Hitchc. (33.33%) y *Matayba apetala* (Macf.) Radlk. (50%, es importante notar la alta presencia de especies de lianas como la *Cassytha filiformis* L. (50%) y *Davilla rugosa* Poir. (16.67%).

Después del fuego, el dosel herbáceo se eliminó y se inventariaron las siguientes especies *Pinus tropicalis* (11.1%), *Cyrilla racemifolia* L. (11.37%) y *Roigella correifolia* (Griseb.) Borhidi & Fernández (11.1%). El número de especies registradas fue más alto que antes del fuego (26) y homogéneo en las

tres parcelas (9 ± 1.9). Es importante notar la alta presencia de varias especies que no se inventariaron antes del fuego, *Tabebuia lepidophylla* (Griseb.) Rich. (33.32%) (de las muestras totales), *Rhynchosphora globosa* (H.B.K.) R. & S. (33.3%) y *Clidemia hirta* (L.) D.Don (33.32%). *Coccocypselum guianense* (Aubl.) K. Schum. (11,1%), *Miconia ibaguensis* (Wright) D.Don (33,3%), *Nephrrolepis acuminata* Kuhn.(22,3%), *Erigeron belliatroides* Dc. (11,1%), entre otras.

Se observó que la especie endémica *Pachyanthus poiretii* Griseb., aumentó su presencia después del fuego (de 16.67% a 100%) y cuatro especies endémicas ausente en las parcelas sin quemar *Miconia delicatula* A. Rich., *Tabebuia lepidophylla* (Griseb.) Rich., *Lyonia mirtylloides* Griseb. y *Mitracarpus glabrescens* (Griseb.) Urb.), aparecían después del fuego con diferentes porcentajes y otra especie la *Cassytha filiformis* L., que no se reportó después del fuego, especie parásita que tiene marcada influencia en la mortalidad de los nuevos repoblados de *P. tropicalis* (Álvarez y Varona, 1988).

El índice de diversidad de Shannon-Weaver, dio como resultado que no hay diferencias significativas antes y después del fuego ($2,46 \pm 0.12$ y $2,29 \pm 0.15$ respectivamente).

En la figura 12 se presentan las curvas de abundancia para cada contexto, en ambos casos siguen una tendencia logarítmica, describiendo una situación donde la abundancia de especies es pequeña y existe una gran proporción de especies raras, o sea hay muchas especies representadas por muy pocos individuos o un solo individuo. Esta distribución de la abundancia es más aplicable en aquellas situaciones en que uno o unos pocos factores dominan las relaciones ecológicas de una comunidad.

Así, Magurran (1988), muestra que la abundancia de especies en el estrato herbáceo de una plantación de coníferas en Irlanda (en la que la luz es especialmente limitante) sigue una distribución en serie logarítmica. En el caso que se estudia, la luz juega también un papel importante y puede llegar a ser limitante en dependencia de la densidad del estrato arbóreo y especialmente del arbustivo. Después de la quema aunque queda eliminado este estrato casi por completo se establece una fuerte competencia entre especies pioneras prevaleciendo el establecimiento de nuevas especies representadas por muy pocos individuos.

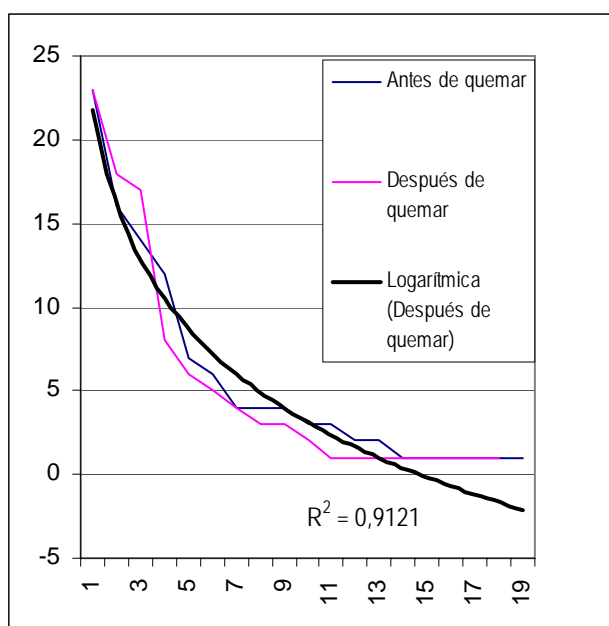


Figura 12. Curvas de abundancia de especies antes y después de la quema prescrita. Ajuste al modelo de abundancia logarítmico.

4.5. Factibilidad de la aplicación de la quema prescrita.

Debido a que la información disponible no permite separar a los incendios ocurridos únicamente en bosques de *P. tropicalis*, los cuales incluso, algunas

veces están mezclados con el *P. caribaea*, la otra especie que compone los bosques de pinos en la provincia, y considerando además, que el comportamiento del fuego en bosques puros de una u otra especie es similar, para la determinación de la factibilidad económica de la aplicación de las quemas prescritas para la reducción del riesgo de surgimiento y propagación del fuego se han utilizado los datos disponibles sobre los bosques de pinos de la provincia de Pinar del Río, en los cuales según Ramos y Cabrera (2006) de 1996 a 2005 ocurrieron 493 incendios que afectaron 14 584,42 ha, el 82,43 % del total de las afectaciones.

De acuerdo con lo anterior en la provincia de Pinar del Río se afectan cada año como promedio 1 458,44 ha de bosques de pinos, por lo que el 5 % de las mismas equivale a 72,92 ha, las que valoradas en 2 000,00 pesos cada una, suman 145 840,00 pesos. A este valor se le resta el costo por la ejecución de la quema. Estos costos, según Gonzáles – Caban (1997), son sumamente variables, aún bajo condiciones similares. Esta variabilidad complica la planificación y evaluación de los presupuestos y programas de quemas prescritas. También Larrañaga *et al.*, (2006), plantea que para realizar un análisis riguroso de los costos de las quemas prescritas, se deben tener presente los aspectos relacionados con la seguridad, con la consecución de los objetivos y con la ejecución de la quema, obteniendo los costos desde 242 hasta 2 727 €/ha (euros por hectáreas), en dependencia de las áreas quemadas.

Independientemente de lo anterior, en este trabajo se ha considerado conveniente obtener estos costos de la forma siguiente:

- Considerar que la quema prescrita se ejecuta en 2 480,50 ha, el 2 % de toda la superficie cubierta por bosques de pinos en la provincia la cual asciende a 124 025,38 ha.
- Las 2 480,50 ha se queman en un plazo de 5 años, tiempo después del cuál, se comienzan a repetir en los mismos lugares. De acuerdo con esto, cada año se quemarían 496,10 ha.
- De acuerdo con el punto anterior y considerando el costo de la ejecución de la quema prescrita en 155,12 pesos por hectárea, el costo por la ejecución de la quema cada año sería de 76 955,03 pesos.

Como resultado final del análisis anterior se obtiene que cada año debe evitarse la pérdida de 68 884,97 pesos lo que constituye un aporte importante a la materialización de la política económica del país en general y del desarrollo forestal planificado hasta el año 2015, en particular.

Es importante destacar, además, que al evitar estas afectaciones se contribuye en alguna medida al logro del manejo forestal sostenible, a la vez que se evita la destrucción de uno de los mecanismos más importantes que tiene la naturaleza para fijar el CO₂ atmosférico, la pérdida de la biodiversidad, la degradación de los suelos y la contaminación del medio ambiente.

También desde el punto de vista social tiene una repercusión importante, pues se contribuye al mejoramiento de la calidad ambiental y a la protección de una fuente de recursos renovables de gran importancia económica, y de un espacio natural en el que el turismo —actividad con grandes potencialidades en el país— podrá encontrar junto a su belleza paisajística, la necesaria seguridad que puede ofrecer para la vida de las personas, un sistema de protección efectivo.

CONCLUSIONES

En este acápite se presentan a modo de resumen las principales conclusiones a las que se han arribado con el desarrollo de esta tesis. Están basadas en los análisis que conforman el contenido de la misma y en correspondencia con los objetivos planteados.

- La ejecución de las quemas prescritas permite la disminución de la cantidad de material combustible, provocando a la vez un efecto favorable en los ecosistemas dependientes del fuego. De acuerdo con esto las mismas deben disminuir el riesgo de surgimiento y propagación del fuego en bosques naturales de *P. tropicalis*.
- La cantidad de material combustible disponible encontrado en las áreas experimentales de *Pinus tropicalis* se puede clasificar de baja, menos de 20 t.ha⁻¹. Con el uso del fuego se logró una reducción del mismo de un 87 %.
- La quema prescrita se desarrolló de acuerdo al plan de quema elaborado, logrando los objetivos propuestos sin dañar el arbolado.
- Las variables del comportamiento del fuego durante la quema se mantuvieron dentro del rango que señalan varios autores para este tipo de quema. La intensidad en los tres tratamientos fue inferior a 2 000 kW.m⁻¹, la velocidad de propagación se clasifica entre baja y media, así como la longitud de la llama y el calor liberado.

- El fuego experimental no afectó considerablemente la estructura de la vegetación y la composición florística de los bosques de *Pinus tropicalis*, tal es así que un año después del fuego la diversidad no varió significativamente, y aumentó la presencia de endémicos y otras especies que no se encontraban antes de aplicar el fuego.
- El fuego con los valores de intensidad lineal, calor desprendido por unidad de área, velocidad de propagación y longitud de las llamas con que se practicaron las quemas provocó aumentos de significación sobre algunas de las propiedades del suelo como: el pH, el P_2O_5 , los cationes de Na y K y la materia orgánica y una disminución significativa de la capacidad de intercambio catiónico muy relacionado con la pobreza de nutrientes en estos suelos.
- El efecto económico que debe obtenerse por la aplicación de las quemas prescritas propuestas es positivo, pues debe evitarse la pérdida cada año de al menos 68 884,97 pesos, a la vez que se contribuye al logro del manejo forestal sostenible y a la protección del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

Teniendo presente las conclusiones a que se arriban en esta tesis, se recomienda:

- Seguir experimentando el uso del fuego en los bosques naturales de *Pinus tropicalis* y en las plantaciones de esta especie y *P. caribaea*.
- Que las Empresas Forestales Integrales y la dirección provincial del Cuerpo de Guardabosque en Pinar del Río tengan presentes los resultados de este trabajo para su aplicación práctica.
- Aplicar los resultados obtenidos como material de consulta en la carrera de Ingeniería Forestal para pregrado y postgrado, así como para los profesionales del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agee, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems, in: Richardson D.M. (Ed.), Ecology and biogeography of *Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 193–218.
- 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., Chapinigo. México. 73 p.
- Aguirre, T. L. 2000. Impacto de la quema controlada en los pastizales de los páramos de la Sierra Central del Perú. Laboratorio de Ecología y Evaluación de Pastizales - UNALM. Disponible en: <http://impactodelaquemacontroladamayo25.htm>. Consultado 18/02/2006.
- Aguirre, Z. M. 2006. Diversidad y composición florística de un área de vegetación disturbada por incendios forestales. Directoria del Herbario Loja. Herbario Loja I. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/bosques/important/index.html>. Consultado 18/3/2006.
- Alain, Hermano. 1964. Flora de Cuba. Tomo V. Asoc. Est. Ciencias Biológicas. La Habana. 362 p.
- Alain, Hermano. 1974. Flora de Cuba. Suplemento. Instituto Cubano del Libro, La Habana, 150 p.
- Alonso, C.; J.L. Duran; E. Frómeta; N. Martín y C. Gutiérrez 1979. Compendio de suelos. Segunda reimpresión. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. pp. 199-231.

- Alvarez, P. A. y J. C. Varona 1988. Silvicultura. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 354 p.
- 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.
- Ares, A. E. 1999. Tablas dasométricas. Propuestas de categoría y valoración de alternativas de manejo para los pinares naturales de la EFI La Palma. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Dr. en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 94 p.
- Attiwill, P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. In: Forest-ecology and management.[s.l.]. v.63, n.2-3, pp. 247-300.
- Atzet, T.; D. Wheeler and R. Gripp 1988. The Fire Environment. Fir Report. Vol. 9, No. 4 (Winter) Special Fire Issue. Extension Service, Oregon. U.S.A. pp. 4 - 7.
- Barlow, J.; C.A. Peres; B.O. Lagan & T. Haugaasen 2003. Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. Ecology letters 6(1): pp. 6-8.
- Batista, A. C. 1995. Avaliacao da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná. Tese apresentada como requisito parcial à obtencao do grau de Doutor em Ciencias Florestais. Curitiba. 108 p.

- Batista, A. C. 1998. Modelos de Estimativa de Comportamento do fogo. ANAIS. 1º. Seminario Sul – Americano sobre Controle de Incendios Florestais e 5ª. Reuniao Técnica Conjunta SIF/FUPEF/IPEF sobre controle de incendios florestais. Belo Horizonte. pp. 231-251.
- Batista, A.C.; C.B. Reissmann y R.V. Soares 2000. Efeitos da queima controlada sobre algumas propriedades químicas do solo em um povoamento de *Pinus taeda* no município de Sengés – PR. *Floresta Br* 27 (1-2): pp. 59-70.
- Batista, J.L.F. & D.A. Maguire 1998. Modelling the spatial structure of tropical forests. *Forest Ecology and Management* 110 (1-3): pp. 293-314.
- Benítez, H. 2003. Regeneración natural de *Pinus caribaea* var. *caribaea* mediante talas rasas en fajas alternas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en ciencias ecológicas. Programa doctoral conjunto. “Desarrollo sostenible de bosques tropicales: manejo forestal y turístico”. Universidad de Alicante y Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río. 2003. 154 p.
- Betancourt, A. 1987. Silvicultura especial de los árboles maderables tropicales. Editorial científico técnico. Ciudad de la Habana. 427 p.
- Bittencourt, S. M. 1990. Aspectos técnicos do sistema bracatinga. In: Seminário sobre agrossilvicultura no desenvolvimento rural, Curitiba, 1990. Anais... Curitiba: Convênio Brasil/Paraná – França – FAO, 1990. pp. 41-46.
- Bonilla, M. y I. Navarro 1987. Caracterización de la vegetación asociada al *Pinus tropicalis* en áreas de la E.F.I. Pinar del Río. Trabajo de Diploma. UPR. 35 p.

- Bottello, H. y M.T. Cabral 1990. Efeitos ecológicos dos incendios e do fogo controlado sobre o estrato arbóreo. Universidade de Trás-Os-Montes en Alto Douro. pp. 77 – 83.
- Brown, A.A. and K.P. Davis 1973. Forest Fire – Control and use. New York, McGraw Hill, 2 nd Ed., 686 p.
- Brown, P.M. and C.H. Sieg 1996. Fire History in Interior Ponderosa Pine Communities of the Black Hill, South Dakota, U.S.A. Int. J. Wildland Fire. Vol. 3, No. 6. pp. 97 –105.
- Burrows, N.D.; Y.C. Woods; B.G. Ward and A.D. Robinson 1989. Prescribed low intensity fire to kill wildings in *Pinus radiata* plantations in western Australia. Australian Forestry, v52, n. 1, pp. 45-52.
- Cairo, P. y O. Fundora 2000. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 476 p.
- Ciesla, W.M. 1995. Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades. Estudio FAO Montes 122. Roma. pp. 143 –163.
- Cochrane, M.A.; A. Alencar; M.D. Schulze; C.M. Souza; D.C. Nepstad; P. Lefebvre & E.A. Davidson 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284(5421): pp. 1832-1835.
- Cochrane, M.A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature* 421(6926): pp. 913-919.
- CONAF. 1994. Manual básico del comportamiento. Corporación Nacional Forestal. Región Bio Bio. Chile. 64 p.

- Covington, W.W. & S.S. Sackett 1984. The effect of prescribed burn in southwestern ponderosa pine in organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. *Forest Science*, Washington, 30, pp. 183-192.
- Cuerpo de Guardabosque (CGB). 2004. Informe anual del cuerpo de guardabosque de la República de Cuba. Pinar del Río. 12 p.
- Cuerpo de Guardabosque (CGB). 2005. Métodos y técnicas para la evaluación del daño provocado por los incendios forestales. Ministerio del Interior. Ciudad de la Habana. 16 p.
- Chandler, C.; P. Cheney; P. Thomas; L. Trabaud and D. Williams 1983. *Fire Forestry*. Vol. 11. Forest Fire Management and Organization. A Wiley – Interscience Publication. U.S.A. 228 p.
- Chen, X.W. & B.L. LI, 2004. Tree diversity change in remaining primary mixed-broadleaved Korean pine forest under climate change and human activities. *Biodiversity and Conservation* 13(3): pp. 563-577.
- Davis, S.D.; V.H. Heywood; O. Herrera-Macbride; J. Villa-Lobos & A.C. Hamilton 1997. Centres of plant diversity. A guide and strategy for their conservation. Volume 3: The America's World Wildlife Fund, Washington D.C.
- De Bano, L. 1989. Effects of fire on chaparral soils in Arizona and California and postfire management implications. Symposium on Fire and Watershed Management. Sacramento, U.S.D.A. Forest Service, Berkeley, pp. 55-62.
- De Bano, L.; D. Neary & D.G. Ffolliott 1998. Fire's effects on ecosystems. John Wiley and Sons, Inc., New York.

- De las Heras, J.; J. Guerra y J.M. Herranz 1995. Influencia de la orientación y de la vegetación briofítica en la evolución de algunos parámetros edáficos 3-5 años después del fuego. *Ecología*, N° 9, pp. 109-119.
- De las Heras, J.; M. Bonilla y L. W. Martínez 2005. Early vegetation dynamics of *Pinus tropicalis* Morelet forests after experimental fire (W Cuba). *Annals of Forest Science*. Vol. 62, pp. 771-777.
- De las Heras, J.; M. Bonilla y L. W. Martínez 2006. Germination after heat treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* seeds of W Cuban forests. *Annals of Forest Science*, Vol. 63, pp. 469-475.
- De Ronde, C; J.G. Goldammer; D.D. Wade y R.V. Soares 1990. Prescribed fire in industrial plantations. In: Goldammer, J.G. Fire in the Tropical Biota-Ecosystem and global Challenges. Berlin: Springer-Verlag, (Ecological Studies, Vol. 84). pp. 216-272.
- Del Risco, E. 1989. Los pinares de la provincia Pinar del Río, Cuba. 56 p.
- FAO. 1986. Terminología del control de incendios en tierras incultas. Estudio FAO Montes No. 70. Roma, 257 p.
- FAO. 1999. Situación de los Bosques del Mundo, Roma, Italia, 184 p.
- Figueroa, C. 2003. Ecología y conservación de *Pinus tropicalis* Morelet. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas. Programa doctoral conjunto. "Desarrollo sostenible de bosques tropicales: manejo forestal y turístico". Universidad de Alicante y Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río. 104 p.
- Flores, J.G. y J. Benavides 1994. Influencias de dos tipos de quemas controladas en bosque de pino en Jalisco. INIFA. Folleto Técnico número 5. Guadalajara. 12 p.

- Fundora, O. 1994. Edafología, Editorial Pueblo y Educación, La Habana. 340 p
- Galindo-Jaimes, L.; M. Gonzalez-Espinosa; P. Quintana-Ascencio & L. Garcia-Barrios 2002. Tree composition and structure in disturbed lands with varying dominance by *Pinus spp.* In the highlands of Chiapas, Mexico. *Plant Ecology* 162(2): pp. 259-272.
- Gerwing, J.J. 2002. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 157(1-3): pp. 131-141.
- 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.
- González-Caban, A. 1997. Factores institucionales y administrativos que afectan a los costes de las quemas prescritas: El caso de los Estados Unidos de América. *Rev. Investigación Agraria* Vol. 6, N° 1 y 2. Madrid. pp. 247-267.
- Granados, D. y G. F. López 1998. Ecología del Fuego. *Revista Chapingo*. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol. IV. Número 1. pp. 193-206.
- Grodzki, L. 2000. Efeitos do fogo sobre variáveis micrometeorológicas em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) manejada sob o sistema agroflorestal em Colombo, PR. Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais. Curitiba. 117 p.

- Haberle, S.G. & M.P. Ledru 2001. Correlations among charcoal records of fires from the past 16,000 years in Indonesia, Papua New Guinea and Central and South America. *Quaternary Research* 55(1): pp. 97-104.
- Haltenhoff, H. D. 1998. Silvicultura preventiva. Santiago de Chile, CONAF. Manual Técnico N.º. 18. 40 p.
- Haltenhoff, H. D. 2005. Manual de Efectos del Fuego y Evaluación de Daños. PROYECTO FAO TCP/GUA/2903 (A). Peten. 93 p.
- Heikkila, T.V.; R. Gronovist & M. Jurvélius 1993. Handbook on forest fire control. A guide for trainers. Forestry Training Programme, Publication 21. Helsinki, 239 p.
- Hernández, A.; J.M. Pérez; D. Bosch; L. Rivero; E. Camacho y E. Frómeta 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de suelos. MINAGRI. Ciudad de la Habana. ISBN: 959-246-022-1. 64 p.
- Hernández, I. y D. López 2002. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Rev. Biol. Trop.* 50 (3/4): pp. 1013-1019.
- Hudson, J., y M. Salazar 1981. Las quemadas prescritas en los pinares de Honduras. Serie miscelanea N.º. 1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras. 57 p.
- Ivanauskas, N.M.; R. Monteiro & R.R. Rodríguez 2003. Alterations following a fire in a forest community of Alto Rio Xingu. *Forest Ecology and Management* 184(1-3): pp. 239-250.
- Johansen, R.W. 1975. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. *Journal of Forestry*, Washington, v73, n3, pp. 148-149.

- Julio, G. y G. Giroz 1975. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales. Bosque. V.1, n. 1, pp. 18-27.
- 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. pp.118 –129.
- Jurado D. V. 2006. Incendios forestales y voluntariado ambiental. Disponible en:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/revistama/revista_ma35/ma35_9.html. Consultado 19/02/2006.
- Kauffman, J.B. y R.E. Martin, 1989. Fire behavior, fuel consumption, and forest-floor changes following prescribe understory fires in Sierra Nevada mixed conifer forest. Can. J. For. Res., Ottawa, v19, pp. 455-462.
- Kennard, D.K.; K.Gould; F.E. Putz; T.S. Fredericksen & F. Morales 2002. Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forests. Forest Ecology and Management 162(2-3): pp. 197-208.
- Larrañaga, A.; M. Galán y O. Pellisa 2006. Discusión sobre el análisis de costos de las quemas prescritas en los ámbitos pre-extinción y gestión forestal. Valoración de 6 años de experiencia en Cataluña. Disponible en: <http://www.ctfc/confeifor>. Consultado 20/08/06.
- Lewis, C.E., B.E. Swindel & G.W. Tanner 1988. Species diversity and diversity profiles, concept, measurement and application to timber and range management. Journal of Range Management 41(6): pp. 466-469.
- Ley No. 85. 1999. Ley forestal. Reglamento de la Ley Forestal. Asamblea Nacional del Popular. 67 p.

- Lima, G. y A. C. Batista 1993. Efeitos do fogo no ecossistema. Estudos de Biologia. N°. XXXI. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. SIN 0102-2067. pp. 5-16.
- Lopetegui, C.M.; O. Alfonso y H.L. Naranjo 1996. Caracterización climática de la cordillera de Guaniguanico, Pinar del Río. Centro Meteorológico Provincial. CITMA, Pinar del Río, Cuba, 17 p.
- Maags, J. 1988. Organic matter and nutrients in the forest floor of a *Pinus ellioti* plantation and some effects of prescribed burning and superphosphate addition. Forest Ecology and Management. Amsterdam. V23. pp. 105-109.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement Croon Helm and London. pp.20-24.
- Marcos, E.; R. Tárrega y E. Luis-Calabuig 1999. Alteraciones producidas por un incendio forestal en el suelo de una repoblación de *Pinus radiata*. Revista. Edafología. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo V. 6. diciembre. pp. 27-35.
- Martín, N.J. y R. Cabrera 1987. Manual de actividades prácticas de suelo. Edición del ISCAH, 258 p.
- Martínez, L.W.; M.P. Ramos e Iris Castillo 2003. Evaluación de los efectos del fuego sobre las propiedades químicas de los suelos en bosques de pinos. Informe final. Proyecto manejo del fuego. Universidad de Pinar del Río. 47 p.
- Martínez, L.W.; M.P. Ramos; I. Castillo; M. Bonilla; R. Sotolongo 2004. Efectos de quemadas prescritas sobre las propiedades del suelo en bosques de *P.*

tropicalis Morelet., en Cuba. Revista Chapingo, Vol. X, Núm. 1 – 2004 (ISSN 0186 3231). Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 31-37.

MINAGRI. 1984. Manual de interpretación de los índices Físicos-Químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-técnico. Ciudad de la Habana. 136 p.

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. Vol. 2, No2, pp. 173-184.

Myers, R.L. 2006. Incendios y Ecosistemas: Un Enfoque Integral del Manejo de Fuego en América Latina. Trabajo publicado en las memorias del Cuarto Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales y Primer Taller Internacional sobre Manejo del Fuego. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 11 p.

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

Oharriz, S. 1991. Protección contra incendios forestales. Editorial Pueblo y Educación. Cuba, 76 p.

Oharriz, S.; C. Valdés y E.B. Llorente 1990. Estadística de los incendios forestales en Cuba durante el periodo 1981 - 1985. Dirección de Protección al Bosque y la Fauna. Cuba. 40 p.

OIMT, 1997. Directrices de la OITM sobre manejo de incendios en los bosques tropicales. Organización Internacional de las maderas tropicales. Serie OITM de Políticas Forestales No. 6. Japón. 41 p.

- Partido Comunista de Cuba. 1997. Proyecto de Resolución Económica. V Congreso del Partido Comunista de Cuba. La Habana. pp. 9 – 68.
- Pyne, S.J.; P.L. Andrews & R.D. Laven 1996. Introduction to wildland fire. De John Wiley & Son. Toronto, Canadá. 769 p.
- Ramos, M. P. 1990. Los incendios forestales (Folleto) Universidad de Pinar del Río, 135 p.
- Ramos, M. P. 1999. Bases metodológicas para el perfeccionamiento de la prevención de los incendios forestales. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 90 p.
- Ramos, M.P. y J.M., Cabrera 2006. Los incendios forestales en Pinar del río, Cuba, de 1996 a 2005. Trabajo publicado en las memorias del Cuarto Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales y Primer Taller Internacional sobre Manejo del Fuego. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 8 p.
- Rego, F. C. 1986. Effects of prescribed fire on vegetation and soil properties in Pinus pinaster forests of northern Portugal. Ph. D. Diss. University of Idaho. 108 p.
- Rodríguez, D. A. 1996. Incendios Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi Prensa. México. 617 p.
- Rodríguez T. D. A.; M. Rodríguez Aguilar; F. Fernández Sánchez y S. J. Pyne 2000. Propuesta de manejo del fuego. Educación e Incendios Forestales. Mundi Prensa. México, D. F. pp. 189-194.

- Rodríguez, D. A. 2002. Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. Trabajo presentado en el SINFOR II. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 24 p.
- Rothermel, R.C. & J.E. Deeming 1980. Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. General Technical Report, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-93, 4 p.
- Ruiz del Castillo, J. 2000. El fuego, factor ecológico. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. pp. 4.1-4.13.
- Sackett, S.S. 1980. Reducing natural ponderosa pine fuels using prescribed fire: two case studies. Research note, Fort Collins, USDA. Forest Service, RM-392, 5 p.
- Salas, F.J. & E. Chuvieco 1994. Geographic Information Systems for Wildland Fire Risk Mapping. Journal Wildfire. Vol. 3, No. 2.
- Samek, V. 1967. Elementos de silvicultura de los pinares. Inst. Biol. Acad. de Ciencias de Cuba. La Habana. 102 p.
- Samek, V. 1973. Pinares de Cajalbana. Estudio sinecológico. Serie forestal No. 13. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 56 p.
- Sánchez, C. J. y L. Zerecero 1983. Quemas controladas. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. INIF. SARH. México. 14 p.
- SEMARNAP, 1999. Curso Internacional de protección contra incendios forestales. Centro de capacitación del ITMA, México, 500 p.
- SEMARNAP. 2006. ¿Cómo se realiza una quema prescrita? Disponible en: http://cecadusu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/manual_quema_controlada/manual_quema_controlada.shtml. Consultado 19/02/2006.

- Soares, R. V. 1985. Incendios Florestais – controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 213 p.
- Soares, R.V. 1990. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In. International Conference on Forest Fire Research. Coimbra. Universidade de Coimbra. pp. C.06-C.09.
- Soares, R. 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.
- TNC. 2005. Introducción a quemas prescritas para áreas naturales protegidas. Belice
- Vallès, F. y J. Badia 2005. Plano de incendios forestales en el Bages. España. Disponible en:
<http://www.iec.es/institucio/societats/ICHistoriaNatural/Bages/foc/cfoc.htm>. Consultado 04/03/2006.
- Vázquez, E. y S. Torres 2000. Fisiología vegetal. Parte I. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 451 p.
- Vega, J.A.; J. Landsberg; S. Bará; T. Paysen; M.T. Fontúrbel y M. Alonso 2000. Efectos del fuego prescrito sobre los suelos de montes de *Pinus pinaster*. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. pp. 14.61-14.71.
- Vélez, R. 2000. El fuego en los ecosistemas forestales del mudo. La defensa contra incendios forestales. Editorial Mc Graw Hill. Madrid. pp. 2.1-2.8.

- 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.
- Wadsworth, F. H. 2000. Producción Forestal para América Tropical. Manual de Agricultura. Departamento de Agricultura de los EE.UU. USDA. Washington. 397 p.
- Wells, C.; R.E. Campbell; L.F. De Bano; C.E. Lewis; R.L. Fredricksen; E.C. Franklin; R.C. Froelich & P.H. Dunn 1979. Effects of fire on soil. Gen. Tech. Rep. Washington, USDA. Forest Service, 34 p.
- Zwolinski, M.J. 1990. Fire effects on vegetation and succession. in: Krammes, J.S. (ed.). Effects of fire management of Southwestern Natural Resources. USDA Forest Service, General Technical Report RM-191. pp. 18-24.

Anexo 1. Modelo para el inventario del material combustible

FICHA PARA EL LEVANTAMIENTO DEL MATERIAL COMBUSTIBLE ANTES Y DESPUÉS DE LA QUEMA

Provincia_____EFI_____U/S_____
Lote_____ Rodal_____

N° Parcela_____ N° sub-parcela_____ Tratamiento_____

Fecha_____

CLASE DE MATERIAL	Cantidad total Peso seco (g.m ⁻²)	Cantidad total (submuestra) Peso húmedo (g.m ⁻²)
Material vivo (hasta 1,80m)		
Misceláneas		
Clase I (0-0,6 cm)		
Clase II (0,7-2,5 cm)		
Clase III (2,6-7,6 cm)		
Clase IV (+7,6 cm)		
Total		
Profundidad del mantillo (cm)		

Observaciones:

Provincia_____EFI_____U/S_____
Lote_____ Rodal_____

N° Parcela_____ N° sub-parcela_____ Tratamiento_____

Fecha_____

CLASE DE MATERIAL	Cantidad total Peso seco (g.m ⁻²)	Cantidad total (submuestra) Peso húmedo (g.m ⁻²)
Material vivo (hasta 1,80m)		
Misceláneas		
Clase I (0-0,6 cm)		
Clase II (0,7-2,5 cm)		
Clase III (2,6-7,6 cm)		
Clase IV (+7,6 cm)		
Total		
Profundidad del mantillo (cm)		

Observaciones:

Anexo 2. Plan de quema prescrita

Localización del área Provincia: <u>Pinar del Río</u> Municipio: <u>La Palma</u> EFI: <u>La Palma</u> U/S: <u>San Andrés</u> Lote: <u>18</u> Rodal: <u>3</u> Superficie: <u>0,4</u> (ha)			
Croquis del área:			
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA RELIEVE: Plano <input type="checkbox"/> Inclinado <input type="checkbox"/> Ondulado <input checked="" type="checkbox"/> Escarpado <input type="checkbox"/> EXPOSICIÓN: Norte <input type="checkbox"/> Este <input checked="" type="checkbox"/> Sur <input type="checkbox"/> Oeste <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> ELEVACIÓN: <u>100</u> (m.s.n.m.) Tipo de suelo: <u>Ferralítico amarillo típico</u> PELIGRO DE EROSIÓN: Alto <input type="checkbox"/> Moderado <input checked="" type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> VEGETACIÓN: Especies Densidad Altura promedio (m) Árboles: <u>P. tropicalis</u> <u>250 árb./ha</u> <u>12,9</u> Arbustos: _____ _____ _____ Combustible superficial: Tipo Cantidad Altura promedio (cm) <u>superficial</u> <u>12,54</u> ton/ha _____(m)			
PROPÓSITO DE LA QUEMA Reducción del combustible. <u>X</u>			
OBJETIVOS ESPECIFICOS DE LA QUEMA Reducción de la cantidad de combustible bajo el arbolado de <i>Pinus tropicalis</i> en un 85 % SEGURIDAD Se establecieron trochas cortafuegos alrededor de todas las parcelas, se seleccionaron los caminos de escape, se mantenía comunicación por radio con la torre contra incendios situada a 7 km del lugar, además de contar con la brigada profesional de prevención y combate a los incendios forestales			
PRESCRIPCIÓN Fecha: <u>Enero</u> Duración de la quema: <u>14 a 17:30</u> Días después de la ultima precipitación <u>2-5</u>			

Observaciones:
