



# Impacto de quemas prescritas en la estabilidad del escurrimiento superficial en un bosque de pino

## Prescribed fire impact on the stability of superficial draining in a pine forest

Isyoel Urrutia Hernández<sup>1\*</sup>, Beatriz Rodríguez Alfaro<sup>2</sup>, Modesto González Menéndez<sup>1</sup>, Luís Wilfredo Martínez Becerra<sup>3</sup>, José Germán Flores Garnica<sup>4</sup> y Yatsunaris Alonso Torrens<sup>3</sup>

1. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes de Oca. Centro Universitario Municipal Viñales. Pinar del Río, Cuba. modesto@upr.edu.cu.

2. Instituto de Investigaciones Agroforestales. Estación Experimental Agroforestal Viñales. Pinar del Río, Cuba. beatriz@vinales.inaf.minag.cu

3. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes de Oca. Departamento Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Pinar del Río, Cuba. wilfredo@upr.edu.cu; hbarrero@upr.edu.cu

4. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco, México.

flores.german@inifap.gob.mx

\* Autor de correspondencia. isyoelu@gmail.com

### RESUMEN

En este trabajo se exponen los resultados obtenidos de la aplicación y manejo del fuego en ecosistemas de coníferas en la Empresa Agroforestal La Palma, Pinar del Río, Cuba, con el propósito de buscar alternativas versátiles y económicas para su aplicación dentro del manejo de los recursos forestales. Aunque en Cuba las quemas prescritas tienen pocos antecedentes, esta práctica se lleva a cabo en varios países como una herramienta de apoyo a sus planes de manejo integral forestal. La poca atención que se da en Cuba al uso y manejo del fuego se debe a que existe poca información sobre sus efectos a mediano y a largo plazo en los ecosistemas forestales. En este trabajo se analizan algunos aspectos de la influencia de las quemas prescritas tales como: definición, época de aplicación, efectos del fuego sobre el material combustible, vegetación y escurrimiento superficial. Se encontró que las quemas prescritas pueden ser una alternativa de apoyo dentro del manejo integral forestal ya que reducen la carga del material combustible y el riesgo de ocurrencia de incendios forestales; además permiten mitigar el efecto de los incendios forestales sobre el escurrimiento superficial y contribuyen a la conservación de los ecosistemas de pinares.

**PALABRAS CLAVE:** conservación, ecosistemas de coníferas, incendios forestales, práctica alternativa.

### ABSTRACT

The following work presents the results obtained by fire management applied in coniferous ecosystems, in the Agroforestry enterprise La Palma, Pinar del Río, Cuba with the purpose of looking for economic and versatile alternatives for forest resources management. Although in Cuba, prescribed burns have few antecedents, this practice is implemented in several countries as a support tool for its integral forestry management plans. Little attention is paid in Cuba to prescribed burns due to the scarce information available about its effects at medium and long terms in forest ecosystems. In this paper, some aspects of prescribed-burns influence such as: definition, application time, fire effects on fuel material, vegetation and superficial glide are analyzed. Results show that prescribed burns can represent a support alternative in integral forestry management because of the reduction of fuel materials and the risk of forest fires; also, they allow to mitigate forest fires effects on surface draining and contribute to pine ecosystems conservation.

**KEYWORDS:** conservation, coniferous ecosystems, forest fires, alternative practices.

## INTRODUCCIÓN

En la última década, muchas regiones del mundo han sido testigos de la creciente tendencia a aplicar el fuego excesivamente en los sistemas de uso de la tierra y de una creciente existencia de incendios forestales de extrema gravedad. Algunas de las consecuencias de estos traspasan las fronteras, como es el caso de la contaminación por humo y sus efectos negativos en la seguridad de la salud humana y la pérdida de la diversidad biológica o la degradación del sitio a escala de paisaje, que conducen a la desertificación o anegamiento (Flores y Benavides, 2009).

También se consideran efectos directos la quema de la materia orgánica sobre el suelo mineral y el calentamiento de las capas superficiales del suelo. Como consecuencia de la quema de la materia orgánica, se liberan a la atmósfera dióxido de carbono, nitrógeno y cenizas; también se depositan en el suelo minerales en la forma de cenizas, alterando el ciclo de nutrientes. Si la intensidad del fuego es alta, el nitrógeno se volatiliza y se pierde; además se promueve la solubilización de los compuestos Ca, P y K, lo cual incrementa la cantidad de minerales disponible, pero solo en forma temporal, ya que rápidamente son lixiviados por las lluvias posteriores. Además, por efecto de la liberación de las bases, se aumenta el pH del suelo (Spurr y Barnes, 1980; Donoso, 1992). También, por efecto del escurrimiento superficial y del viento, el nitrógeno contenido en el lecho de cenizas puede ser movilizado hacia otros lugares, produciéndose las consecuentes pérdidas (Opazo, 1994).

En algunos países, incluido Estados Unidos, el número de incendios muy severos y dañinos está en aumento, como consecuencia de décadas en el éxito de la prevención y supresión de los incendios en algunos ecosistemas propensos al fuego, lo que ha causado modificaciones en las cargas de combustibles y en la composición del bosque, las cuales ahora alimentan incendios más intensos (National Commission on Wildfire Disasters, 1995).

Uno de los efectos más importantes e inmediatos de los incendios es el cambio de régimen de agua del sitio quemado, por ejemplo, un aumento en la escorrentía superficial, que puede causar un aumento en la erosión; inundaciones, depósitos de sedimentos, turbiedad y contaminación de los ríos. También traen consigo un aumento en la disponibilidad de agua, para usos industriales y domésticos, aunque usarla puede resultar más costoso a causa del tratamiento adicional. Varios factores como la intensidad del incendio, la proporción de la cuenca quemada, el tamaño y naturaleza de la cuenca y la distancia de las cuencas a las áreas residenciales, así como los puntos de uso de agua, influyen en la magnitud de estos efectos.

Conocer las alteraciones que se producen en el régimen hidrológico, generadas por la aplicación de las quemas prescritas en pinares, es importante si se tiene en cuenta que la existencia de pinares en Cuba es superior a las 250 000 ha (Carpio, 1998) y que las proyecciones en el mediano plazo, por necesidad de la economía requieren otras 180 000 ha.

Los esfuerzos para detener los incrementos en el escurrimiento y la erosión después de los incendios forestales son ampliamente reconocidos, pero falta una comprensión básica de los procesos físicos que ayudaría a designar prácticas efectivas de rehabilitación de áreas perturbadas por incendios. Una de estas prácticas son las quemas prescritas, las cuales están siendo usadas para diferentes fines, pero aún existe poca información sobre los efectos que muestran en los escurrimientos superficiales de los ecosistemas de pinares en Cuba.

## OBJETIVOS

Evaluar el efecto del fuego sobre la estabilidad del escurrimiento superficial en una microcuenca experimental de un bosque natural mixto de *Pinustropicalis* Morelet y *Pinuscaribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari. así como estimar la disminución de los combustibles forestales y la cobertura vegetal, asociadas al río San Diego en la localidad de Galalón, provincia de Pinar del Río, Cuba.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio

La investigación se realizó en un bosque natural mixto de *Pinus tropicalis* Morelet y *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari de la Estación Hidrológica Forestal “Amistad”, la cual ocupa un área de 52 ha, posee ocho microcuencas experimentales y su centro coincide con las coordenadas 22°41' de latitud norte y 82°26' de longitud oeste (Fig. 1). Este experimento centró su estudio en la microcuenca número uno donde se aplicaron las quemaduras prescritas, con un área de 8,91 ha, y la microcuenca número dos de 10,3 ha, utilizada como patrón.

### Suelos

El suelo de la zona en estudio, de acuerdo con el Ministerio Nacional de la Agricultura (1984) y con Cairo y Fundora (2007), corresponde al tipo Ferralítico Cuarcítico Amarillo típico, fuertemente desaturado (< 40%), muy profundo (> 100cm), de textura loam arenoso con poca graviliosidad (< 2,0%); presenta una pendiente entre 16,1% y 30% (alomado); 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.

### Caracterización de la vegetación

Las especies dominantes son *Pinus tropicalis* Morelet y *P. caribaea* Morelet var. *caribaea*, en la etapa de desarrollo de latizal alto con una altura promedio de 13 m y un diámetro de 16 cm. Es importante destacar la altura del fuste limpio que presentan los árboles, aspecto que se debe tener en cuenta a la hora de aplicar el fuego prescrito, para no afectar la parte aérea de la planta y que no influya en su crecimiento permitiéndole sobrevivir al efecto de los fuegos superficiales de baja intensidad. Florísticamente, el bosque se caracteriza por un estrato arbóreo compuesto por *P. tropicalis* y *P. caribaea*, un estrato arbustivo compuesto por *Byrsonima crassifolia*(L) HBK; *Tetrazigia coriácea* Mill) Cog; *Roigella correifolia* (Griseb.) Borhidi & Fernández, L; *Clusia rosea* Jacq, *Xylopia aromatica* (Lam.) Mait. Y, *Matayba apetala* (Maca.)Radlk; *Andira inermis* Sw HBK, así como un estrato herbáceo compuesto por *Sorghastrum stipoides* HBK Nash, *Odontosoria wriglitiana* Maxon; *Andropogon bicornis* Lin y *Cyathearborea* Smith, además de lianas y epífitas.

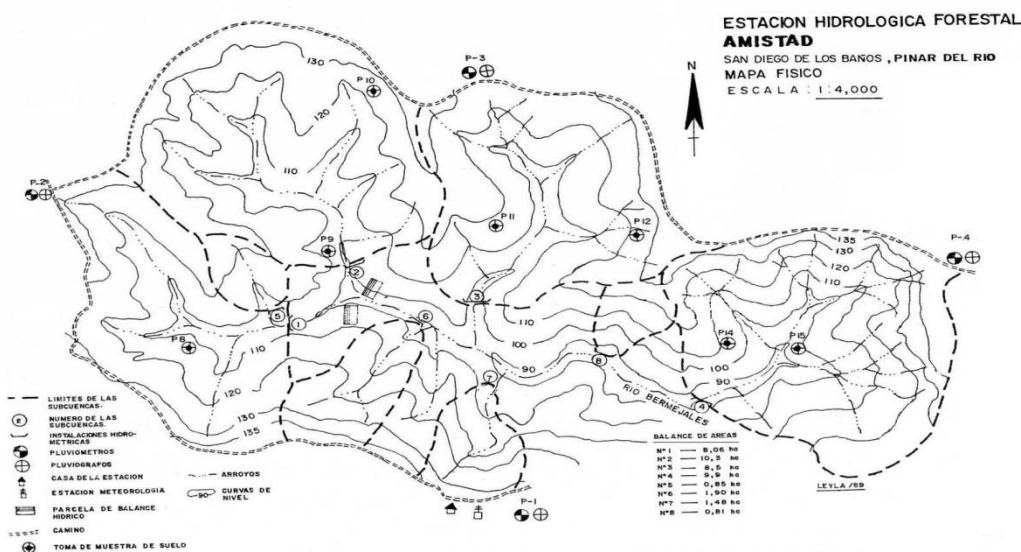


FIGURA 1. Localización del área experimental.

### Diseño experimental, muestreo y toma de datos

En el caso del comportamiento del fuego, el diseño experimental consistió en la ubicación al azar de tres parcelas rectangulares de 10 000 m<sup>2</sup> cada una, con dimensiones de 200 m × 50 m.

Durante el desarrollo del experimento se evaluó el comportamiento del fuego y sus efectos sobre el material combustible disponible, las concentraciones iónicas del agua, los indicadores hidrológicos, las características físico-químicas del suelo y la vegetación.

### Plan de quema prescrita

Para la planificación de las quemas prescritas realizadas, se previó la cuantía y tipos de recursos que se requerían, se obtuvo la autorización por parte del Cuerpo de Guardabosques y del Servicio Estatal Forestal. También se informó de las quemas a las autoridades de la localidad (Poder Popular y la Empresa Forestal Integral), las comunidades cercanas y a la población en general. El plan de quema se realizó, siguiendo lo establecido por *The Nature Conservancy* (2005).

### Técnica de quema utilizada

Para la ejecución de las quemas prescritas fue aplicada la técnica de quema en retroceso (contra el viento). La quema 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.

Las líneas de fuego fueron encendidas por los lados de cada parcela, utilizando una antorcha de goteo, a partir de las trochas que delimitan las parcelas. De esta forma, el fuego recorrió el ancho de la parcela.

### Estimación de la carga de material combustible disponible

La estimación de la cantidad de material combustible fue realizada una semana antes de la fecha en que se ejecutaron las quemas y una semana después de realizadas las mismas.

Se utilizó el método de muestreo de las parcelas cuadradas de 1 m<sup>2</sup>, en transectos, ubicándose cinco de estas

en línea recta al centro de cada parcela de 10 000 m<sup>2</sup> con una separación de 10 m entre ellas. Con la ecuación 1, 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 parcelas 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 (24).

$$N = \left[ \frac{CV * t}{EM \%} \right]^2 \quad (1)$$

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 95% de probabilidad

El material combustible disponible se clasificó en misceláneos, material vivo y material leñoso muerto. Se consideraron misceláneos 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 a 2,5 cm y altura menor a 1,80 m. El material leñoso muerto se clasificó de acuerdo con la metodología utilizada por Batista (1995). Para determinar la profundidad del mantillo se utilizó una regla graduada, midiendo en cada uno de los bordes de las subparcelas de un metro cuadrado, su profundidad en centímetros.

### Comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego se evaluó en las tres parcelas quemadas de 10 000 m<sup>2</sup>. Algunos de los parámetros utilizados para esto fueron obtenidos directamente en el área de estudio.

Para determinar la intensidad del fuego se utilizó la ecuación 2 (Byram, 1959).

$$I = H * w * r \quad (2)$$



Donde:

$I$ : Intensidad del fuego, kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>

$H$ : Calor de combustión (4 000 kcal kg<sup>-1</sup>)

$w$ : Peso del combustible disponible por unidad de superficie, kg m<sup>-2</sup>

$r$ : Velocidad de propagación del fuego, m s<sup>-1</sup>

El calor liberado por unidad de área se determinó con la ecuación 3 (Rothermel y Deeming, 1980).

$$Ha = \frac{I}{r} \quad (3)$$

Donde:

$Ha$ : Calor liberado por unidad de área, kcal m<sup>-2</sup>

$I$ : Intensidad del fuego, kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>

$r$ : Velocidad de propagación, m s<sup>-1</sup>

La longitud de las llamas fue estimada y observada directamente durante las quemas por la altura de carbonización de la corteza. La velocidad de propagación del fuego se determinó por la ecuación 5.

$$r = \frac{d}{t} \quad (5)$$

Donde:

$r$ : Velocidad de propagación del fuego, m s<sup>-1</sup>

$d$ : Distancia del avance del fuego, m

$t$ : Tiempo de demora del avance del fuego, s

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

### Procesamiento de las variables hidrológicas

Se obtuvieron datos del caudal, de escurrimiento superficial, obteniéndose el módulo de escurrimiento y el coeficiente de escurrimiento (Plasencia, 2006). Sobre el comportamiento de la concentración de los iones presentes en la disolución acuosa se han obtenido datos de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y de pH. Las muestras de agua de las microcuencas de la Estación Hidrológica Amistad se tomaron de las corrientes aguas arriba del vertedor, o sea, próximo a las parcelas quemadas. El seguimiento analítico se realizó de forma mensual en el laboratorio Provincial de Suelos de Pinar del Río, para lo cual se utilizaron botellas de cristal con la capacidad de 1 litro. Se utilizó la metodología para la determinación de la salinidad en muestras de aguas de Pérez y Moreno (1986).

### Rendimiento hídrico (escurrimiento)

Para el procesamiento del escurrimiento se determinaron diferentes indicadores: volumen (L), módulo de escurrimiento (L s<sup>-1</sup> ha), lámina de escurrimiento (mm) y coeficiente de escurrimiento. Esto se realizó a partir de la determinación diaria del caudal (L s<sup>-1</sup>) y el uso de un programa computarizado basado en la fórmula de Thomson (Herrero, Renda, González y Gra, 1985), específico para este tipo de vertedor, según la cual el valor del gasto o caudal corresponde a la expresión 6:

$$Q = 1,343 * H^{2,47} \quad (6)$$

Donde:

$Q$  = gasto o caudal (L s<sup>-1</sup>)

$H$  = nivel del agua sobre el vértice del vertedor (cm)

En cada uno de los dos vertedores se efectuó el aforo volumétrico a modo de comprobación; en este aforo se tuvo en cuenta la curva de calibración de cada vertedor y, con ella, la tabla de gasto para el procesamiento de la información, además de la interpretación de la carta del linnígrafo por los observadores. Teniendo en cuenta los días sin crecidas, los cálculos se realizaron para intervalos de seis horas y, cuando se originó una crecida, los intervalos estuvieron determinados por los puntos de cambio del hidrograma, que se registraron en un modelo que permite la computación de los datos.

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó la prueba de rangos Kruskal-Wallis a cada muestra independiente para determinar su significación y la prueba

de U Mann Whitney (Wilcoxon) (5%) para muestras no relacionadas.

Se aclara que, en estos casos en que se trata de microcuencas (cuencas de muy poca extensión) y de pendiente pronunciada, el escurrimiento medido en la estación hidrométrica equivale a escurrimiento de tipo superficial, específicamente. Las ecuaciones para determinar los diferentes indicadores hidrológicos son las siguientes: 7, 8 y 9.

$$Le = \frac{V}{A} \quad (7)$$

$$Me = \frac{V}{T^* A} \quad (8)$$

$$Ce = \frac{V}{PP^* A} \quad (9)$$

Donde:

Le = lámina de escurrimiento, mm

Me = módulo de escurrimiento, l s<sup>-1</sup> ha

Ce = coeficiente de escurrimiento

V = volumen de escurrimiento, L

A = área de la cuenca, ha

T= tiempo, s

PP = precipitación, mm

### Evaluación de los efectos del fuego sobre la vegetación

Para evaluar los efectos del fuego sobre la vegetación se consideraron varios parámetros ecológicos: riqueza florística, modelo de abundancia e índice de diversidad (usando el índice del Shannon-Wiener). Además, la forma de vida tuvo en cuenta los tipos biológicos de Raunkaier (1934), determinados según la clave de Elleberg y Mueller-Dombois (1967) y las estrategias reproductivas, considerando las plantas que se propagan por semillas, las que se propagan por rebrotes y ambas. El estrato herbáceo se consideró de 0,1 m a 1,0 m, el arbustivo de 1,1 m a 5 m

y el arbóreo mayor a 5 m de altura, de acuerdo con Álvarez y Varona (2006).

## RESULTADOS

### Planificación de las quemas prescritas

Las quemas en retroceso se realizaron en los meses de noviembre y diciembre del año 2008, período apropiado para su aplicación práctica. El promedio de la velocidad del viento durante los meses que se efectuaron las quemas fue de 3,44 km h<sup>-1</sup> y 3,62 km h<sup>-1</sup>. Valores similares fueron observados en el área del experimento durante la ejecución de las quemas realizadas, lo cual permitió garantizar su efectividad.

Durante el mes de noviembre, la temperatura promedio en el área experimental fue de 24,7 °C y en el mes diciembre fue de 23,5 °C; valores similares se registraron en el momento de aplicación de las quemas los cuales permitieron que los combustibles forestales, principalmente los más finos, perdieran o ganaran humedad.

Los valores promedio determinados en el momento de la quema oscilaron entre 73% y 76,2%, factor que influye en el momento de planificar la quema, ya que el contenido de humedad de los combustibles finos y muertos reacciona inmediatamente a los cambios de la humedad relativa del ambiente.

### Estimación de la cantidad de material combustible disponible antes y después de la quema

Con base en la clasificación del material combustible, se determinó que, para el área de estudio, los misceláneos fueron los de mayor representatividad. Esto se debe a la gran acumulación de las acículas y otras hojas de varias especies forestales que demoran en descomponerse, formando una capa gruesa donde el fuego se puede propagar con facilidad. En la tabla 1 se presentan los valores obtenidos para peso seco del material combustible disponible antes de la quema, en cada una de las parcelas, de acuerdo con la clasificación utilizada.



TABLA 1. Peso seco del material combustible disponible antes de la quema por parcela y clases de combustible.

Clases	Material combustible ( $kg\ m^{-2}$ )			
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Media
Verde	0,295	0,186	0,140	0,207
Misceláneos	1,46845	1,64857	1,38435	1,50045
Clase I	0,10643	0,12834	0,08024	0,105
Clase II	0,21135	0,32149	0,20958	0,24747
Total	2,08123	2,2844	1,81417	2,05993

En la tabla 2 se muestra el peso seco del material combustible después de las quemas por parcelas y clases de combustibles, donde se logró una reducción del peso seco del material combustible de 87,7%.

Se determinó la espesura del mantillo en centímetros, antes y después de efectuar las quemas en cada una de las parcelas experimentales. Se obtuvo una reducción de espesura del mantillo el cual alcanzó un valor promedio de 70,5% con una profundidad media, después de efectuadas las quemas prescritas, de 3,3 cm.

### Comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego estuvo influenciado por el viento y la disponibilidad del material combustible en las áreas experimentales donde se efectuaron las quemas prescritas. En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos del comportamiento del fuego durante la puesta en práctica de dichas quemas.

Los valores de intensidad del fuego obtenidos están determinados por el porcentaje del material combustible disponible y la velocidad del viento, los cuales contribuyeron en gran medida a que los valores de intensidad del fuego oscilaran entre 58 780  $cal\ m^{-1}\ s^{-1}$  y 129 750  $cal\ m^{-1}\ s^{-1}$ . Wade y Lunsford (1989) describieron niveles de intensidades asociados con el comportamiento del fuego para auxiliar los planes de quemas prescritas en poblaciones de *Pinus elliotii* en el sur de los EUA. Según estos autores, existen dos niveles: el límite de óptima variación que estaría entre 17 000  $cal\ m^{-1}\ s^{-1}$  y 60 000  $cal\ m^{-1}\ s^{-1}$  y el máximo de intensidad de quema que no debe sobrepasar las 165 000  $cal\ m^{-1}\ s^{-1}$ . Comparando los resultados de la tabla 3 con

estos valores, ambos están por debajo de la máxima intensidad de quema, aspecto de suma importancia que garantiza la efectividad de la quema.

### Comportamiento de los indicadores hidrológicos antes y después de las quemas

Del análisis del comportamiento del coeficiente, lámina y módulo de escurrimiento un año antes y después de aplicadas las quemas prescritas en parches hasta los dos años, con el uso de la prueba de comparación de rangos de Kruskal-Wallis, se evidencia en la tabla 4 que no existen diferencias significativas ( $\alpha > 0,05$ ) para las variables analizadas. Esto se puede explicar por la baja severidad de las quemas que no afectaron al bosque de pino, lo cual favorece la retención de la lluvia caída en hojas y ramas.

### Comportamiento de los indicadores hidrológicos después de la aplicación de las quemas en la microcuenca uno y la microcuenca dos sin quema

Como resultado del empleo de la prueba de comparación de rangos U Mann Whitney (Wilcoxon) (5%) para analizar los indicadores hidrológicos principales tales como lámina, módulo y coeficiente de escurrimiento a partir del año de aplicadas las quemas prescritas hasta los dos años, entre la microcuenca número uno después de aplicado el fuego, y la microcuenca número dos sin quema, se observa en la tabla 5 que no existe diferencia significativa  $\alpha > 0,05$  entre las subcuencas 1 y 2, para los indicadores hidrológicos evaluados. Esto se infiere por la baja intensidad de las quemas prescritas y por los factores que condicionaron el comportamiento de los niveles de escurrimiento.

TABLA 2. Peso seco en del material combustible después de la quema por parcela y clases de combustible.

Clases	Material combustible ( $\text{kg m}^{-2}$ )				Reducción, %
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Media	
Verde	0	0	0	0	100
Misceláneos	0,0492	0,05366	0,02135	0,04140	96,7
Clase I	0,06935	0,07647	0,03138	0,05906	56,24
Clase II	0,09835	0,12234	0,10523	0,10864	66,5
Total	0,2169	0,25247	0,15796	0,20911	87,7

TABLA 3. Parámetros del comportamiento del fuego.

Parcelas	$I$ ( $\text{cal m}^{-1}\text{s}^{-1}$ )	$r$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$Ha$ ( $\text{cal m}^{-2}$ )	$L$ (m)
1	127370	0,0153	8324840	0,76
2	129750	0,0142	9137320	0,75
3	58780	0,0081	7256790	0,74

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

TABLA 4. Comportamiento de los indicadores hidrológicos después de efectuadas las quemas en la microcuenca1.

Resultados estadísticos	Lámina de escurrimiento	Módulo de escurrimiento	Coefficiente de escurrimiento	Precipitaciones
Chi-cuadrado	0,084	0,880	1,563	1,013
gl	4	4	4	4
Sig. Asintót.	0,999	0,927	0,815	0,908

TABLA 5. Comportamiento de los indicadores hidrológicos después de la quema en la microcuenca1 y la microcuenca 2, que no estuvo sometida a quema.

	Microcuenca 1- Microcuenca 2		
	Lámina escurrimiento	Módulo de escurrimiento	Coefficiente de escurrimiento
U de Mann-Whitney	1577,0	1756,0	1532,0
W de Wilcoxon	3407,0	3586,0	3362,0
Z	-1,170	-0,231	-1,407
Sig. Asintót. (bilateral)	0,242	0,817	0,159

### Efectos del fuego en la dinámica de la vegetación

La vegetación existente en el área experimental es típica de pinares, inventariándose 46 especies, pertenecientes a 30 familias, las cuales incluyen elementos arbóreos, arbustivos, herbáceos, trepadoras y plantas arrosadas.

La vegetación que predominó en el estrato arbóreo estuvo conformada por las especies *P. tropicalis* y *P. caribaea*; el estrato arbustivo estuvo representado principalmente por *Byrsonima crassifolia*, *Tetrazigja coriacea* y géneros de la familia *Rubiaceae*. En el estrato herbáceo prevalecieron las especies





*Sorghastrum stipoides* y *Odontosoria wrightiana*; además, se observó la presencia de *Davilla rugosa* (bejuco) que rebrotó con facilidad después de la aplicación de las quemas.

La regeneración en el estrato herbáceo aparece a partir del mes de aplicadas las quemas y varias especies ocupan el estrato arbustivo a los tres meses, favoreciendo en gran medida que los niveles de infiltración sean mucho mayores, permitiendo reducir la escorrentía superficial al incrementar la capacidad de intercepción de la lluvia dentro del suelo mineral.

Se evaluó la vegetación asociada al dosel del pino, antes y después de efectuadas las quemas, destacándose la aparición de nueve especies que no se tenían registradas en los inventarios antes de la quema, 31 especies coincidieron y cinco no se registraron en los inventarios después del fuego.

### Estrategias reproductivas

Después de efectuadas las quemas en las áreas de estudio, se observaron las estrategias reproductivas y las adaptaciones que presentan algunas especies para enfrentar la acción del fuego; estas especies tienen la capacidad para rebrotar con diferente intensidad, aspecto que se puede observar en representantes de las familias: Poaceae, Malpigiaceae y algunos géneros de la familia Melastomataceae, las cuales rebrotaron desde la base, los tallos y las ramas.

Las plantas arbustivas más comunes que presentaron brotes fueron: *B. crassifolia*, que muestra características pirofíticas, y *T. coriacea*. Entre las hierbas se destacan *A.*

*bicornisy S. stipoides*, además de *D. rugosa*, un bejuco trepador que rebrota fácilmente.

La edad de las plantas influye en el comportamiento posterior de la vegetación: las más vigorosas y de mayor edad soportan el efecto del fuego y, por lo tanto, tienen mayor posibilidad de rebrotar. Se pudo observar que la regeneración de los pinos resiste al fuego, este afectó en mayor magnitud a la regeneración de *P. caribaea*; *P. tropicalis*, fue más resistente al fuego por su corteza gruesa y disposición de las acículas que le protegen la yema terminal de las altas temperaturas provocadas por el fuego.

La evolución del impacto del fuego sobre la regeneración natural es un proceso dinámico, debido a que las condiciones que se definen después del fuego no son las mismas después de un periodo de varios meses. Respecto a la fecha en que se efectuaron las quemas prescritas, se determinó que las mismas no favorecieron en gran medida a la regeneración natural de las especies de pino en estudio, solo se observó en los espacios abiertos y soleados, la presencia de regeneración natural de las mismas a los dos años de efectuadas las quemas.

### Comportamiento de la diversidad de especies

En la tabla 6 se presentan los valores obtenidos de los índices de diversidad de especies antes y después de efectuadas las quemas. Se puede observar que estos índices tienden a incrementarse después del fuego. Además, se observó una mejor distribución de las especies en el área quemada.

TABLA 6. Comportamiento de los índices de diversidad antes y después de quemar.

<i>Índice de diversidad</i>	<i>Antes de quemar</i>	<i>Después de quemar</i>
Margaleff	27,5	31,5
Shanon - Wiener	1,27	1,32
Berquer - Parker	15,6	19,1

## DISCUSIÓN

Para desarrollar el plan de quema y garantizar los objetivos previstos, se analizaron varios factores climáticos de la región. Según (Heikkilä, Gronovist y Jurvélius 1993), las condiciones climatológicas determinan en el comportamiento del fuego, destacándose las variables: precipitación, viento, temperatura y humedad relativa, tomadas antes, durante y después de efectuar las quemas. Estas se realizaron en los meses de noviembre y diciembre, favoreciendo su efectividad. Lo anterior en concordancia con Martínez (2006), quien refiere que las quemas prescritas no se pueden efectuar en los meses donde existe sequía o llueve excesivamente; deben realizarse durante la época del año con alta probabilidad lluvia ligera (menos de 10 mm), seguida de un período corto sin lluvia. La temperatura es el tercer factor básico del clima que debe tomarse en consideración, pues determina el estado del combustible forestal, incidiendo en su secado.

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 significa que hay un alto contenido de humedad en el aire, lo que aumenta el contenido de humedad del combustible Heikkilä *et al.*, (1993).

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.

La mayor representatividad de los misceláneos se debe a la gran acumulación de las acículas y otras hojas de varias especies forestales que tardan en descomponerse; en tanto se completa la descomposición, se forma una capa gruesa donde el fuego se puede propagar con facilidad. Batista y Soares, (1997) consideraron que el material combustible es fundamental para la ocurrencia y propagación del fuego.

Las muestras del material combustible seco colectado alcanzan los siguientes valores, para las parcelas 1, 2 y 3; 2,08 kg m<sup>-2</sup>, 2,28 kg m<sup>-2</sup> y 1,81 kg m<sup>-2</sup>, respectivamente. Resultados similares obtuvieron Martínez (2006), (Pérez,

Cobas, López, y Tamayo 2009), (Flores, 2009) y (Pérez, Martínez, Ramos y Tamayo 2010) en quemas prescritas experimentales, estos autores atribuyeron la mayor cantidad de combustibles a los misceláneos. Por otra parte, Batista (1995) y Grodzki (2000) plantean que en quemas prescritas experimentales la mayor cantidad de material combustible corresponde a los misceláneos. Este resultado influye, según Bittencourt (1990), en la rapidez de la quema.

El elevado porcentaje de reducción obtenido de la masa seca del material combustible está dado por el alto contenido de combustibles correspondiente a los misceláneos, los cuales tenían un bajo contenido de humedad en el momento de aplicar las quemas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Urrutia *et al.* (2011) en el mismo sitio, quien logró una reducción del material combustible de 88,04% con la aplicación de quemas prescritas y quemas controladas de baja intensidad.

Por otra parte, Batista (1995) obtuvo valores similares para la velocidad de propagación en plantaciones de *P. taeda*; mientras que Grodzki (2000) determinó que la velocidad promedio en quemas prescritas en bosques de *Mimosa scabrella* Benth fue de 0,041 m s<sup>-1</sup>.

La velocidad de propagación se mantuvo en los intervalos descritos por Wade y Lunsford (1989), quienes afirman que las quemas contra el viento avanzan con velocidades entre 0,0056 m s<sup>-1</sup> y 0,0167 m s<sup>-1</sup>, logrando así menor intensidad del fuego y longitud de las llamas. La velocidad de propagación del fuego en las parcelas experimentales fue lenta, de acuerdo con la clasificación de Bottello y Cabral (1990).

En correspondencia con lo expresado por Rodríguez (2008) sobre la importancia de los bosques en la escorrentía, al modificar la forma en que las precipitaciones acceden a los cauces, se incide en la disminución drástica de las aportaciones superficiales que influyen en la escorrentía. Según este criterio, el control de la escorrentía superficial por el bosque consiste en la posibilidad de reducir los caudales originados por los fuertes aguaceros que, con tanta frecuencia causan avenidas e inundaciones catastróficas, producidas en su mayor parte por las escorrentías rápidas de flujo superficial.



La regeneración en el estrato herbáceo aparece a partir del mes de aplicadas las quemadas y varias especies ocupan el estrato arbustivo a los tres meses, favoreciendo en gran medida que los niveles de infiltración sean mucho mayores y permitiendo reducir la escorrentía superficial al incrementar la capacidad de infiltración de la lluvia dentro del suelo mineral. Onda y Yukawa (1994) expresaron que existe menor infiltración y escurrimiento superficial al surgir cubierta vegetal; Martínez (2006) obtuvo resultados similares en estudios relacionados con la vegetación asociada en bosques de *Pinus tropicalis* Morelet.

La puesta en práctica del uso y manejo del fuego de forma racional en bosques de pino contribuye a preservar el origen de la especie endémica *Pinus tropicalis*, que en determinadas condiciones no logra su regeneración natural debido a la acumulación de materiales combustibles y densidad de la vegetación existente.

## CONCLUSIONES

Este estudio permitió conocer el efecto de la aplicación de quemadas prescritas sobre la estabilidad del escurrimiento superficial en ecosistemas de pinares naturales mezclado con *P. tropicalis* y *P. caribaea*, donde el uso del fuego no introdujo efectos significativos sobre el comportamiento de los indicadores hidrológicos tales como lámina, módulo y coeficiente de escurrimiento entre el área quemada y no quemadas según la prueba de comparación de rangos U Mann Whitney (Wilcoxon) (5%). Las quemadas de baja severidad aplicadas permitieron incrementar el número de especies arbustivas y herbáceas en 8,4%. Se recomienda utilizar quemadas prescritas ya que se logró una reducción de 87,7% de material combustible y regularmente en estas áreas se exceden las 20 t ha<sup>-1</sup>.

## RECONOCIMIENTOS

Se agradece a los siguientes especialistas por su apoyo en el desarrollo de este proyecto: Alexis Martínez Gallardo y Mateo Martínez López del Cuerpo de Guardabosques del municipio La Palma, Armando Ávila García y Ernesto Negrín de la Empresa Agroforestal La Palma, Ariel Tomás Plasencia Puentes, Dionicio Cruz Delgado y Manuel

Arteaga González de la Estación Hidrológica Amistad de Pinar del Río y al doctor Héctor Barrero Medel de la Universidad de Pinar del Río.

## REFERENCIAS

- Álvarez, P., & Varona, J. (2006). *Silvicultura*. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Batista, A. (1995). *Avaliação da queima controlada em povoamentos de Pinus L. no norte do Paraná*. Tesis de doctorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Batista, A. C. & Soares, R. V. (1997). *Manual de prevenção e combate a incêndios florestais*. Curitiba, Panamá, Brasil.
- Bittencourt, S. (1990). Aspectos técnicos do sistema bracinga. Em: Seminário sobre agrosilvicultura no desenvolvimento rural, Curitiba. Análisis (pp. 41-46). Curitiba: Convênio Brasil/Paraná – França – FAO.
- Bottello, H. & Cabral, T. (1990). *Efeitos ecológicos de os incêndios e do fogo controlado sobre o estrato arbóreo*. Universidade de Trás-Os-Montes em Alto Douro.
- Brown, A. & Davis, K. (1973). *Forest Fire – Control and use* (2a ed.). New York: McGraw Hill.
- Byram, G. M. (1959) Combustion of forest fuel. En K. P. Davis (Ed.), *Forest fire: control and use* (pp. 77-84). New York: McGraw Hill.
- Cairo, C. & Fundora, H. (2007). *Edafología*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
- Carpio, C., (1998). Oportunidades de negocios en el sector forestal en Cuba. *Revista. Cuba Forestal*, 1, 35-38.
- Donoso, C. (1992). *Ecología forestal, el bosque y su medioambiente* (3ª ed.). Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Elleberg, H. & Mueller-Dombois, D. (1967). *A key to Raunkiaer plan life forms with revised subdivisions* (pp. 56-73). Berg Geobotanic. Inst. Rübél 37.
- Flores, J. & Benavides, J. (2009). *Efecto del fuego en la regeneración natural de ecosistemas forestales* (pp. 141-152). México: Mundi- Prensa.
- Grodzki, L. (2000). *Efeitos do fogo sobre variáveis micros meteorológicas em uma floresta de bracinga (Mimosa scabrella Benth.) manejada sob o sistema agroflorestal em Colombo*. Tesis doctoral. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Heikkilä, T., Grönqvist, R., & Jurvelius, M. (1993). *Handbook on forest fire control. A guide for trainers*. Forestry Training Programme, Publication 21. Helsinki.

- Herrero, J., Renda, A., González, A., & Gra, H. (1985). *Manejo de Pinus caribaea en las zonas de Alturas de Pizarras, Pinar del Río*. Reseñas Forestales. La Habana: Centro de Información Documental de Archivos (CIDA).
- Martínez, L. (2006). *Uso de quemas prescritas en bosques naturales de Pinustropicalis Morelet en Pinar del Río*. Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba.
- Ministerio Nacional de la Agricultura (1984). *Manual de interpretación de los índices Físicos-Químicos y morfológicos de los suelos cubanos*. Ciudad de la Habana: Editorial Científico-Técnico.
- National Commission on Wildfire Disasters. (1995). *Report of the National Commission on Wildfire Disasters*. Washington, DC: National Commission on Wildfire Disasters
- Onda, Y. & Yukawa, N. (1994). The influence of under stories and litter layer on the infiltration of forested hill slopes. En *Proceeding of International Symposium on Forest Hydrology* (pp. 107- 114). Tokyo, Japan: Organizing Committee, 1994.
- Opazo, J. (1994). Fertilidad de suelos. En W. Vera (Ed.), *Suelos, una visión actualizada del recurso* (pp. 155-195). Publicaciones Misceláneas Agrícolas - 38. Santiago. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Pérez, J. & Moreno, V. (1986). NRG. *Metodología para la determinación de la salinidad en muestras de aguas*.
- Pérez, E., Cobas, G., López, Y., & Tamayo, W. (2009). *Diagnóstico de bosques de Pinus cubensis Griseb para la aplicación de quemas prescritas*. Documento presentado en el IV Encuentro Internacional por el Desarrollo Forestal Sostenible, Palacio de las Convenciones de La Habana, Cuba.
- Pérez, E., Martínez, L., Ramos, M., & Tamayo, W. (2010). *Determinación de la influencia de las quemas prescritas en bosques de Pinus cubensis Griseb cuando son aplicadas para la restauración ecológica*. Documento presentado en III Simposio Internacional de Restauración Ecológica. Santa Clara, Cuba.
- Plasencia, T. (2006). *Caracterización hidrológica en los ecosistemas de pinares naturales con y sin manejo en la Estación Hidrológica Forestal "Amistad", Alturas de Pizarra, Cuba*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante, España- Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba.
- Rodríguez, Y. (2008). *Influencia de tratamientos silvícolas en el régimen hidrológico. caso de la cuenca del arroyo Bermejales, del Río San Diego, Pinar del Río*. Tesis de maestría. Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.
- Rothermel, R. & Deeming, J. (1980). Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. General Technical Report INT-93. Ogden: U.S.D.A. Forest Service.
- Spurr, S. & Barnes, B. (1980). *Forest Ecology* (3<sup>rd</sup> ed.). New York, U.S.A.: John Wiley and Sons.
- The Nature Conservancy (2005). *Introducción a quemas prescritas para áreas naturales protegidas*. Belice.
- Flores G., J. G. (2009). *Impacto ambiental de Incendios forestales* (pp. 121-125). China: MundiPrensa México, S. A. de C. V.
- Urrutia H., I., Rodríguez A., B., Fleitas C., Y., Rodríguez R., Y., Hernández A., J., A., Martínez B., L., W., & Flores G., J., G. (2011). Quemas prescritas una alternativa ecológica para la reducción del material combustible en plantaciones de pino. *Revista Forestal Baracoa*, 30(2).
- Wade, D. & Lunsford, D. (1989). A guide for prescribed fire in southern forests. Technical Publication R8- TP11. Atlanta: U.S.D.A. Forest Service.

Manuscrito recibido el 2 de mayo de 2017

Aceptado el 9 de septiembre de 2018

Publicado el 24 de abril de 2020

Este documento se debe citar como:

Urrutia H., I., Rodríguez A., B., González M., M., Martínez B., L., W., Flores G., J. G., y Alonso T., Y. (2020). Impacto de quemas prescritas en la estabilidad del escurrimiento superficial en un bosque de pino. *Madera y Bosques*, 26(2), e2621549. doi: 10.21829/myb.2020.2621549



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.