

## Incendios forestales y grado básico de peligro en la empresa forestal Macurije, Cuba

Raúl G. Rodríguez<sup>1</sup>, Marcos P. R. Rodríguez<sup>2</sup>, Armando D. Dangel<sup>1</sup>,  
Ronaldo V. Soares<sup>3</sup>, Antonio C. Batista<sup>3</sup> & Alexandre F. Tetto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ministerio del Interior, Departamento Manejo del Fuego, Cuerpo de Guardabosques, Calle 2610, Plaza de la Revolución, C. P. 10600, La Habana, Cuba. E-mail: red.caribe@gmail.com; centromonitoreo@cgb.rem.cu

<sup>2</sup> Universidad de Pinar del Río, Departamento. Forestal, Calle Martí 272, C.P. 20100, Pinar del Río, Cuba. E-mail: cmramos@af.upr.edu.cu

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Rua Lothário Meissner 900, CEP 80210-170, Curitiba-PR. E-mail: rvsoares@ufpr.br, batistaufpr@ufpr.br, tetto@ufpr.br

### RESUMEN

La investigación se desarrolló en la Empresa Forestal (EF) Macurije, localizada en la provincia Pinar del Río, Cuba. El objetivo fue contribuir al perfeccionamiento de las actividades de manejo del fuego a partir de una evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales y de la definición del riesgo local de incendios forestales en dicha empresa. Las informaciones sobre los incendios forestales, la dinámica y la ordenación forestal corresponden al periodo 2007 – 2011. La evaluación del comportamiento histórico consideró la distribución temporal (años, meses, horas, días de la semana) y espacial (grupos de especies, clase de cobertura forestal) de los incendios. Para la definición del grado básico de peligro se dividió el área de estudio en cuadrículas (celdas) de 25 km<sup>2</sup>. Para cada celda con vegetación forestal se calcularon los índices de frecuencia, causalidad e inflamabilidad. Integrando estos tres índices se obtuvo el grado básico de peligro. Dentro de los principales resultados obtenidos pueden mencionarse que el 74,84 % de los incendios ocurrieron entre marzo y junio, el 68,39 % entre las 14:00 y las 17:00 horas, y el 88,39 % en bosques de *Pinus* sp. El 3,50 % del área (2723,39 ha) presentó un alto grado básico de peligro de incendios forestales.

**Palabras-claves:** comportamiento histórico, peligro, riesgo

### *Forest fires and basic degree danger in the forest enterprise Macurije, Cuba*

### ABSTRACT

The research was conducted in the Forest Enterprise (FE) Macurije, located in the Pinar del Río province, Cuba. The objective was to contribute to the improvement of fire management activities considering a fire history evaluation and the definition of local risk of wildfires in the enterprise. The information on forest fires and forest dynamics correspond to the period 2007 to 2011. The historic performance evaluation considered the distribution temporal (years, months, hours, days of the week) and spatial (groups of species, forest cover type) of the fires. To define the basic degree of danger the study area was divided into grids (cells) of 25 km<sup>2</sup>. For each cell with forest vegetation, frequency, causality and flammability indices were calculated. Integrating these three indexes was obtained basic degree of danger of forest fire. Among the main results obtained may be mentioned that the 74.84% of the fires occurred between March and June, 68.39% between 14:00 and 17:00, and 88.39% in forests of *Pinus* sp. and 3.50% of the area (2723.39 ha) presented a basic high wildfire hazard.

**Key words:** fire history, danger, risk

## Introducción

Desde hace varios años en muchos países de América Latina y el Caribe, al igual que en otras regiones del mundo, se está registrando una tendencia creciente de ocurrencias de incendios y de áreas quemadas, con la consecuente preocupación de las autoridades y de la población en general por los graves impactos sobre la economía, la degradación de los ecosistemas, la pérdida de diversidad biológica y la salud humana. El aumento de los incendios forestales está afectando al cambio climático, y el cambio climático está contribuyendo al aumento de los incendios forestales (FAO, 2005).

De acuerdo con NASA (2012) el cambio climático aumentará la frecuencia de los incendios, los periodos de sequía en algunas regiones, así como la duración e intensidad de las tormentas tropicales, todos estos factores inciden directamente en el material combustible y su disponibilidad para ser afectado por los incendios forestales.

Según FAO (2012), se prevé que el calentamiento del planeta originará una disminución en las precipitaciones y un aumento de las condiciones meteorológicas extremas, como los largos periodos de sequía (con pocas excepciones), un incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales y la pérdida de la biodiversidad. Es probable que haya una grave escasez de agua y aumente la desertificación, lo que dará lugar a un círculo vicioso de degradación de los bosques y la tierra. Agrega este autor que los incendios forestales son una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, cuya incidencia probablemente aumentará a causa del cambio climático.

En el caso de los incendios forestales, Pyne (1997), plantea que estos se constituyen en la actualidad en una de las causas de grandes pérdidas económicas y de innumerables daños al medio ambiente y que, paradójicamente, a pesar de que se usan las más modernas técnicas para detectarlos y extinguirlos, en casi todo el mundo se observa un incremento en el número de incendios y de las hectáreas afectadas por estos siniestros.

En Cuba, al igual que en el resto del mundo, el fuego ha sido y es utilizado por los agricultores como una herramienta eficaz y económica para eliminar residuos de cosechas, limpiar terrenos y renovar los pastos. Muchas veces estas áreas se encuentran en la colindancia de los bosques por lo que al menor descuido, si no se observan las medidas necesarias, el fuego avanza hacia ellos.

En los últimos 10 años (2002 – 2011) han ocurrido en Cuba 3698 incendios que han afectado una superficie de 110107 ha. De estos totales corresponden a la provincia de Pinar del Río 757 incendios, de los cuales 266 (35,13 %) se reportaron en la EF Macurije. Las áreas quemadas en la provincia totalizaron 14304,14 ha, de las cuales correspondieron a la EF Macurije 5541,04 ha (38,73 %) (Rodríguez, 2012).

Esta situación indica la importancia que tiene tratar de reducir aún más, tanto el número de incendios como las superficies por ellos afectadas. La utilización del riesgo local de incendios forestales para la toma de decisiones en las distintas actividades del manejo del fuego, puede contribuir al logro de este noble objetivo, al permitir priorizar zonas dentro de un territorio, lo cual ayudaría a realizar una utilización más

racional de los recursos que se emplean en la protección contra los incendios forestales en dichos lugares, permitiendo esto a su vez un incremento de las medidas preventivas, tales como: la vigilancia disuasoria, el desarrollo de conferencias, charlas, conversatorios, la distribución de plegables y volantes con mensajes dirigidos a disminuir la ocurrencia de los incendios en estas zonas. También el empleo del grado básico de peligro permite dividir el área de estudio en zonas más pequeñas, siendo posible optimizar los recursos destinados al combate de estos siniestros y ofrecer una respuesta rápida y oportuna ante el surgimiento y propagación de los mismos, dislocando las brigadas de protección contra incendios forestales en las zonas donde el grado básico de peligro muestra los valores más altos.

En correspondencia con lo anterior, este trabajo tiene el objetivo de obtener el riesgo local de incendios forestales para la EF Macurije. De esta forma se podrá asignar al territorio distintos niveles de prioridades, lo cual constituye también, una herramienta que enriquecería el sistema actual de alerta temprana existente en el país. Esta clasificación se obtendría con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de la integración de los índices de frecuencia, de causalidad y de inflamabilidad.

## Material y Métodos

### Características del área de estudio

El trabajo se desarrolló en la Empresa Forestal Macurije ubicada en la región occidental de la provincia de Pinar del Río. Esta empresa administra la actividad forestal en los municipios Guane y Mantua. La empresa limita al Noreste con el municipio Minas de Matahambre y con el litoral costero desde la Ensenada de Baja hasta la Ensenada de Garnacha, al Este con el municipio San Juan y Martínez, al Sur con el municipio Sandino y al Sureste con el litoral del Golfo de México comprendido entre las desembocaduras de los ríos Cuyaguaje y Puercos. El patrimonio forestal de la empresa es de 87263,40 ha. La superficie cubierta de bosques es de 75742,80 ha. Los bosques naturales cubren una superficie de 38415,10 ha y las plantaciones 37327,70 ha. Corresponden a *Pinus* sp 38264,00 ha y a *Eucaliptus* sp 7175,00 ha, dos especies muy inflamables. El clima, según Wadsworth (2000) quien utilizó la clasificación de Köppen de 1936, es Aw (clima tropical con la temperatura del mes más frío mayor que 18 °C y una estación seca con al menos un mes con menos de 600 mm). La precipitación media anual es de 1484,53 mm, la temperatura media anual de 24,53 °C y la humedad relativa media anual de 81%.

### Proceso metodológico

Los datos relacionados con los incendios forestales, la dinámica de la vegetación forestal y la ordenación forestal, fueron facilitados por la Jefatura Provincial del Cuerpo de Guardabosques (CGB), el Servicio Estatal Forestal y la Dirección de la EF Macurije respectivamente. Para el procesamiento de la información fueron utilizados el Sistema Integrado para el Manejo de Bases de Datos sobre Incendios Forestales (SIMBDIF) versión 1.2 (Rodríguez, 2002), el programa para el procesamiento estadístico SPSS para

Windows versión 15.0, el MapInfo versión 8.0 y el Microsoft Excel.

Una evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales fue realizada teniendo en cuenta los elementos metodológicos desarrollados por Rodríguez (1999). Utilizando las informaciones sobre los incendios ocurridos en la EF Macurije durante el periodo 2007 – 2011, sobre la dinámica forestal y de la ordenación forestal de dicha empresa, se obtuvieron los índices de riesgo relacionados con la frecuencia de incendios forestales, causalidad e inflamabilidad. Posteriormente, con la integración de estos índices se obtuvo el riesgo local de incendios forestales. La representación de los resultados obtenidos en los mapas correspondientes se hizo con la ayuda del SIG MapInfo versión 8.0. Los valores de los intervalos para los diferentes índices fueron fijados a partir de la diferencia entre los valores de los datos y el promedio de estos. El índice de frecuencia, según Vélez (2009), se obtuvo por la Ecuación 1:

$$F_i = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a n_i \quad (1)$$

Donde  $F_i$  es el índice de frecuencia;  $n_i$  el número de incendios en cada año; y  $a$  el número de años. Para expresar y representar la peligrosidad de este índice se confeccionó la escala que muestra la Tabla 1.

**Tabla 1.** Escala del índice de frecuencia

Índice de frecuencia	Peligrosidad	Color
0,00 – 1,00	Baja	Verde
1,01 – 2,00	Media	Amarillo
2,01 – 3,00	Alta	Rojo

La Ecuación 2 fue utilizada para calcular el índice de causalidad (Vélez, 2009).

$$C_i = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \frac{\sum_{j=1}^a c \cdot nic}{ni} \quad (2)$$

Donde  $C_i$  es el índice de causalidad;  $c$  el coeficiente de peligrosidad específica de cada causa;  $nic$  el número de incendios de cada causa en cada año;  $ni$  el número de incendios en cada año; y  $a$  el número de años. En la Tabla 2 se muestra la escala de peligrosidad establecida para expresar y representar el índice de causalidad.

**Tabla 2.** Escala del índice de causalidad

Índice de causalidad	Peligrosidad	Color
0,00 – 1,33	Baja	Verde
1,34 – 2,66	Media	Amarillo
2,67 – 4,00	Alta	Rojo

La peligrosidad específica de cada causa puede medirse por la eficacia para incendiar que cada una de ellas tiene, considerando al bosque en condiciones iguales para todas ellas. Después de realizar varios análisis se ha considerado correcto utilizar para los distintos grupos de causas, los coeficientes empleados para las mismas por Vélez (2000; 2009), los cuales

son: para intencionales, 10; para las negligencias, 5; y para rayos y desconocidas, 1. Estos coeficientes fueron utilizados también por Rodríguez (1999) en Pinar del Río.

Para calcular el índice de inflamabilidad se utilizó (Vélez, 2009) la Ecuación 3.

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^a e \cdot Sfe}{Sf} \quad (3)$$

Donde  $I_i$  es el índice de inflamabilidad;  $e$  el coeficiente de peligrosidad relativa de cada formación forestal;  $Sfe$  la superficie forestal de cada formación;  $Sf$  la superficie forestal total; y  $a$  el número de años. Los coeficientes de peligrosidad relativa de cada formación forestal se calcularon (Vélez 1981), teniendo en cuenta las superficies afectadas por el fuego de cada formación y la superficie total ocupada por esa formación para el periodo de estudio. Este método fue empleado también por Rodríguez (1999). En la Tabla 3 se muestra la escala utilizada para este índice.

**Tabla 3.** Escala del índice de inflamabilidad

Índice de inflamabilidad	Peligrosidad	Color
0,00 – 1,00	Baja	Verde
1,01 – 2,00	Media	Amarillo
2,01 – 3,00	Alta	Rojo

De acuerdo con Vélez (2009), el riesgo local o grado básico de peligro de incendios forestales ( $PB$ ) puede obtenerse al integrar los resultados de los índices de frecuencia ( $F_i$ ), causalidad ( $C_i$ ) y combustibilidad ( $M_i$ ), según la Ecuación 4.

En este trabajo se determinó el riesgo local o grado básico de peligro a partir de modificar la ecuación propuesta por Vélez (2009) por la Ecuación 5

$$PB = F_i \times C_i \times M_i \quad (4)$$

$$PB = (F_i \times C_i) + I_i \quad (5)$$

Donde  $PB$  es el riesgo local de peligro;  $F_i$  el índice de frecuencia;  $C_i$  el índice de causalidad; y  $I_i$  el índice de inflamabilidad.

La primera modificación consiste en sustituir en dicha ecuación el índice de combustibilidad ( $M_i$ ) por el de inflamabilidad ( $I_i$ ). Esta transformación obedece a que para calcular el primero de los índices se necesitan datos relacionados con los modelos de combustibles y el coeficiente de riesgo de cada modelo, datos que aún no están disponibles para Cuba. En cambio se propone utilizar el índice de inflamabilidad, que para su cálculo ha de tener en cuenta (Vélez, 1981) la presencia relativa de las diferentes formaciones forestales. La comparación de las superficies quemadas con las existentes durante un periodo largo permite obtener unos índices relativos de peligrosidad de cada formación.

La segunda transformación se basa en multiplicar los resultados del índice de frecuencia ( $F_i$ ) por los del de causalidad ( $C_i$ ) y sumar estos a los del índice de inflamabilidad ( $I_i$ ). Esta transformación se debe a que cuando se divide el área de estudio total en áreas más pequeñas (cuadrículas de 25 km<sup>2</sup>)

y se calcula para cada una de ellas los índices de frecuencia y causalidad, alguno de ellos puede ser cero. Por ejemplo, en un área del tamaño antes mencionado puede que no hayan ocurrido incendios, por tanto el índice de frecuencia es cero y el de causalidad también lo es, sin embargo, el índice de inflamabilidad para esa cuadrícula tiene un peso específico ya que este depende de la especie vegetal existente en la misma, por lo que *PB* no debe ser cero, lo cual ocurre si se aplica la ecuación propuesta por Vélez (2009).

En la Tabla 4 se muestra la escala para expresar y representar el riesgo local.

**Tabla 4.** Escalas del riesgo local de peligro de incendios forestales

Grado básico de peligro	Peligrosidad	Color
0,00 – 2,33	Bajo	Verde
2,34 – 7,32	Medio	Amarillo
7,33 – 15,0	Alto	Rojo

De acuerdo con Dentoni & Muñoz (2005), para calcular los índices de riesgo de cada área en particular, se divide la misma en una malla de trabajo de celdas cuadradas, cuyo lado dependerá de la extensión del territorio en estudio y del origen de los incendios (p. ej.: 10x10 km).

Relacionado con este aspecto, Franchés & Escudero (1995), realizaron análisis históricos de incendios forestales para determinar los índices de riesgo referidos a la frecuencia, causalidad e inflamabilidad con cuadrículas de 25 km<sup>2</sup>. Plantean estos autores que tradicionalmente en España se utilizó una cuadrícula de 100 km<sup>2</sup> para determinar dichos índices, agregan que han modificado esta metodología tratando de obtener resultados más concretos a nivel comarcal, añaden que de este modo se localiza con mayor detalle dentro de una misma cuadrícula los lugares de mayor riesgo, además existe una mayor aproximación de este análisis en los Planes Comarcales de Incendios al reducir en una cuarta parte el tamaño de la cuadrícula.

Teniendo en cuenta los criterios antes mencionados sobre la definición del área de las cuadrículas para la construcción de la malla de trabajo y posteriores cálculos de los índices en cada una de ellas y con el objetivo de realizar una utilización más óptima de los recursos destinados a la prevención y respuesta ante el surgimiento de estos siniestros, se consideró conveniente dividir el área objeto de estudio en celdas con una extensión de 25 km<sup>2</sup>.

## Resultados y Discusión

### Comportamiento histórico de los incendios forestales

En la Tabla 5 está la distribución de los incendios y las áreas quemadas a través del periodo de años objeto de estudio. Se destaca el alto valor para el promedio de hectáreas quemadas por incendios durante el año 2011, estando determinado estos valores por la ocurrencia en el mismo, durante el mes de abril, de dos incendios de grandes proporciones lo cual elevó considerablemente el promedio de hectáreas quemadas por incendios durante ese año. No obstante, durante los años anteriores este indicador de eficiencia del sistema de protección contra incendios forestales muestra buenos resultados, siendo inferiores a los reportados por Soares (1992) para Grecia de

1978 a 1982, España de 1977 a 1982, y Brasil de 1983 a 1987; y los reportados por Madoui (2000) para Argelia de 1979 a 1987, siendo similares a los obtenidos por Rodríguez et al. (2008), en la provincia Pinar del Río de 1997 al 2006 y por Castro (2009) para la EF Macurije de 1999 al 2005.

**Tabla 5.** Distribución de las ocurrencias de incendios, las áreas quemadas y las áreas quemadas medias por incendios (Aqm) (2007 – 2011)

Años	Incendios		Áreas quemadas		Aqm
	(No.)	(%)	(ha)	(%)	(ha/inc)
2007	17	10,97	230,10	4,50	13,54
2008	22	14,19	118,00	2,31	5,36
2009	50	32,26	435,74	8,52	8,71
2010	23	14,84	83,00	1,62	3,61
2011	43	27,74	4249,40	83,06	98,82
Total	155	100,00	5116,24	100,00	33,01

Los resultados de la Tabla 6 muestran que durante el periodo de estudio la mayor cantidad de ocurrencias se presentó de marzo a junio. En este periodo se incluyen los últimos meses del periodo poco lluvioso, en los cuales el material combustible está muy seco y los primeros del periodo lluvioso, en los cuales se origina gran cantidad de incendios por rayos. No coinciden con estos resultados los obtenidos por Castro (2009) quien obtuvo para esta empresa durante el periodo 1999 – 2008 un periodo de máximas ocurrencias de mayo a agosto. No obstante, Rodríguez & Soares (1998), Rodríguez (1999), Rodríguez & Soares (2004) y García (2007) obtuvieron resultados similares para la provincia Pinar del Río durante diferentes periodos de tiempo. La mayor cantidad de áreas quemadas se concentra en los meses de abril y mayo. Esto difiere de lo obtenido por Rodríguez & Soares (1998) quienes encontraron un periodo de mayores áreas quemadas de marzo a julio. En este sentido, Rodríguez & Soares (2004) obtuvieron resultados similares en la provincia Pinar del Río de 1998 al 2001. El mayor valor para las áreas quemadas medias por incendios se presentó en abril, lo cual coincide con lo obtenido por Castro (2009) para esta empresa durante el periodo 1999 - 2008. En tanto que Rodríguez et al. (2008) obtuvieron para la provincia Pinar del Río de 1997 al 2006 el mayor valor para el mes de mayo. La prueba estadística no paramétrica de *Kruskall-Wallis* demostró la existencia de diferencia significativa entre las medias obtenidas para cada uno de los meses con valores de  $p=0,000$ ,  $0,001$  y  $0,004$  para

**Tabla 6.** Distribución de las ocurrencias de incendios, las áreas quemadas y las áreas quemadas medias por incendios (Aqm) a través de los meses (2007 – 2011)

Meses	Incendios		Áreas quemadas		Aqm
	(No.)	(%)	(ha)	(%)	(ha/inc)
Enero	4	2,58	11,00	0,22	2,75
Febrero	9	5,81	42,70	0,83	4,74
Marzo	14	9,03	68,30	1,33	4,88
Abril	23	14,84	3708,44	72,48	161,24
Mayo	58	37,42	1013,80	19,82	17,48
Junio	21	13,55	129,50	2,53	6,17
Julio	11	7,10	37,00	0,72	3,36
Agosto	8	5,16	25,50	0,50	3,19
Septiembre	1	0,65	46,00	0,90	46,00
Octubre	2	1,29	26,50	0,52	13,25
Noviembre	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	4	2,58	7,50	0,15	1,88
Total	155	100,00	5116,24	100,00	33,01

las ocurrencias de incendios, las áreas quemadas y las áreas quemadas medias por incendios, respectivamente.

En la Tabla 7 se presentan los valores de los incendios ocurridos cada uno de los días de la semana para el periodo que se analiza. También se pueden observar los valores medios para cada día con su correspondiente porcentaje. A través de la prueba estadística no paramétrica de *Kruskall-Wallis* pudo comprobarse que no existe diferencia significativa entre las medias de los incendios ocurridos cada uno de los días de la semana ( $p=0,306$ ). Resultados similares obtuvieron para la EF Macurije Castro (2009) de 1999 al 2008 y para la provincia Pinar del Río, en periodos de años diferentes, Rodríguez & Soares (1998), Rodríguez (1999), Rodríguez & Soares (2004) y García (2007).

La distribución de las ocurrencias de incendios durante las horas del día en las que ocurrieron incendios, se presenta en la Tabla 8. Se observa que entre las 14:00 y las 17:00 horas ocurre el 68,39 % de los incendios. Antes y después de este periodo las ocurrencias disminuyen. Este comportamiento está en correspondencia con la distribución diaria de la temperatura y la humedad relativa, dos variables del tiempo atmosférico que influyen en la humedad de los materiales combustibles. Los resultados coinciden con los obtenidos por Castro (2009) para la EF Macurije (1999 – 2008) y son similares a los obtenidos para la provincia Pinar del Río por Rodríguez & Soares (1998), Rodríguez (1999), Rodríguez & Soares (2004) y García (2007) durante diferentes periodos de años. La existencia de diferencia significativa entre las medias de los incendios ocurridos a las distintas horas fue demostrada con la prueba estadística no paramétrica de *Kruskall-Wallis* ( $p=0,000$ ).

Según se muestra en la Tabla 9, durante el periodo de estudio la mayor cantidad de incendios y de áreas quemadas corresponden al grupo de los *Pinus* spp. Eso indica la necesidad

de planificar con mucho cuidado en estas áreas las actividades de manejo del fuego. Resultado similar encontró Rodríguez (1999) para Pinar del Río en el periodo 1975 – 1996.

**Tabla 9.** Distribución de las ocurrencias de incendios, las áreas quemadas y las áreas quemadas medias por incendios (Aqm) según los grupos de especies (2007 al 2011)

Grupos de especies	Incendios		Áreas quemadas		Aqm (ha/inc)
	(No.)	(%)	(ha)	(%)	
<i>Pinus</i> sp.	137	88,39	4989,94	97,53	36,42
<i>Eucalyptus</i> sp.	18	11,61	126,30	2,47	7,02
<i>Casuarina</i> sp.	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Otras especies	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	155	100,00	5116,24	100,00	33,01

De acuerdo con la Tabla 10, el mayor número de incendios y de áreas quemadas se presentan en las plantaciones. No obstante, se observa que para el caso de las áreas quemadas, la diferencia entre ambas coberturas de bosques es pequeña. Esto tiene relación con la importante participación de las plantaciones en los planes de producción, además de estar localizadas en áreas más cercanas a los poblados y a la existencia de mejor accesibilidad hasta las mismas. En correspondencia con estos elementos pues ocurren más incendios en las plantaciones, pero la llegada a las mismas es de forma rápida y oportuna, lo cual no ocurre cuando los incendios se presentan en los bosques

**Tabla 10.** Distribución de las ocurrencias de incendios, las áreas quemadas y las áreas quemadas medias por incendios (Aqm) según las clases de cobertura forestal (2007 al 2011)

Clases de cobertura forestal	Incendios		Áreas quemadas		Aqm (ha/inc)
	(No.)	(%)	(ha)	(No.)	
Naturales	45	29,03	2276,24	44,49	49,48
Plantaciones	110	70,97	2840	55,51	25,82
Total	155	100,00	5116,24	100,00	32,80

**Tabla 7.** Distribución de las ocurrencias de incendios a través de la semana (2007 – 2011)

Días de la semana	Incendios ocurridos por años					Total	Media	%
	2007	2008	2009	2010	2011			
Domingo	0	2	6	4	10	22	4,4	14,19
Lunes	4	6	6	6	5	27	5,4	17,42
Martes	0	4	6	3	6	19	3,8	12,26
Miércoles	6	4	11	3	4	28	5,6	18,06
Jueves	2	1	8	0	2	13	2,6	8,39
Viernes	3	2	8	5	8	26	5,2	16,77
Sábado	2	3	5	2	8	20	4	12,90
Total	17	22	50	23	43	155	-	100,00

**Tabla 8.** Distribución de las ocurrencias de incendios a través del día (2007 – 2011)

Horas	Incendios ocurridos por años					Total	Media	%
	2007	2008	2009	2010	2011			
09:00	0	0	2	1	0	3	0,6	1,94
10:00	0	0	1	0	1	2	0,4	1,29
11:00	0	0	0	0	1	1	0,2	0,65
12:00	0	0	5	0	2	7	1,4	4,52
13:00	1	0	3	3	5	12	2,4	7,74
14:00	0	1	8	4	8	21	4,2	13,55
15:00	4	2	7	7	3	23	4,6	14,84
16:00	0	7	12	3	9	31	6,2	20,00
17:00	9	4	6	5	7	31	6,2	20,00
18:00	0	3	5	0	4	12	2,4	7,74
19:00	2	3	1	0	2	8	1,6	5,16
20:00	0	2	0	0	1	3	0,6	1,94
21:00	1	0	0	0	0	1	0,2	0,65
Total	17	22	50	23	43	155	-	100,00

naturales, ubicados a grandes distancias de las poblaciones y con caminos en mal estado, lo cual dificulta grandemente la llegada de las fueras y medios hasta los mismos, por lo que el tiempo libre del siniestro aumenta, incrementándose de esta manera el área quemada. Rodríguez & Soares (2004) encontraron para el periodo 1998 – 2001 en Pinar del Río resultados similares. También Rodríguez (1999) obtuvo resultados similares para Pinar del Río en el periodo 1975 – 1996.

La distribución de los valores de las ocurrencias y las áreas quemadas según las causas se presentan en la Tabla 11. Se observa que el rayo es la causa que presenta los mayores valores para ambas variables. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Castro (2009) para la EF Macurije durante el periodo 1999 – 2008 durante el cual los rayos eran la principal causa de surgimiento, pero las negligencias las responsables de la mayor cantidad de área quemada.

**Tabla 11.** Distribución de las ocurrencias de incendios y las áreas quemadas según las causas (2007 al 2011)

Causas	Incendios		Área quemada	
	(No)	(%)	(ha)	(%)
Rayos	94	60,65	4340,50	84,84
Desconocidas	0	0,00	0,00	0,00
Intencionales	6	3,87	40,00	0,78
Negligencias	55	35,48	735,74	14,38
Totales	155	100,00	5116,24	100,00

### Riesgo local de incendios forestales

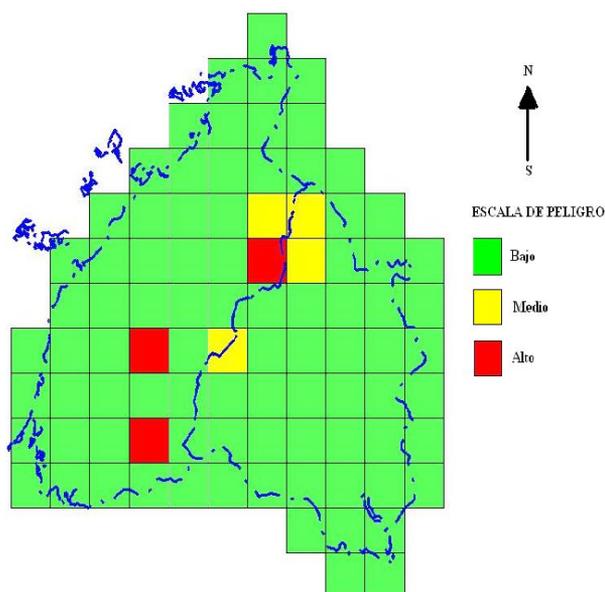
El área de la Empresa fue dividida en un total de 91 celdas, de las cuales se utilizaron solamente las 57 que coincidieron con la superficie cubierta de bosques. A través de la aplicación de la prueba estadística de Conglomerados de  $K$  medias se determinó como se agruparon las cuadrículas en cada uno de los conglomerados.

Según González (1997) citado por Rodríguez (1999), este método de análisis consiste en el empleo de algoritmos que tienen por objeto la búsqueda de grupos similares de variables o de observaciones, por tanto a partir de una serie de variables de las que se posee un conjunto de observaciones, el análisis de conglomerados agrupa (tanto variables como observaciones) en grupos lo más homogéneos posible, por lo que las características de todos los componentes de un grupo serán similares.

Este método de análisis es de tipo aglomerativo en el sentido de que, partiendo del análisis de los casos individuales, intenta ir agrupando casos hasta llegar a la formación de grupos o conglomerados homogéneos, esta técnica multivariante permite agrupar los casos (celdas) en función del parecido o la similitud existente entre ellos, para ello comienza seleccionando los  $K$  casos más distantes entre sí (el usuario debe determinar inicialmente el número de  $K$  conglomerados que desea obtener) y a continuación se inicia la lectura secuencial del archivo de datos asignando cada caso al centro más próximo y actualizando el valor de los centros a medida que se van incorporando nuevos casos. Una vez que todos los casos han sido asignados a uno de los  $K$  conglomerados, se inicia un proceso iterativo para calcular los *centroides* finales de los  $K$  conglomerados.

En la Figura 1 se muestran los resultados de la zonificación del riesgo a partir del índice de frecuencia en la EF Macurije.

De acuerdo con la escala de la Tabla 1, el 12,28 % (9555,22 ha) del área estudiada presenta riesgo medio y alto para la frecuencia de incendios. El 87,72 % del área en estudio presenta un riesgo bajo para la frecuencia de incendios. Estos resultados difieren de los obtenidos por Jordán (2010) en la elaboración del Plan de Defensa contra Incendios Forestales en el Parque Natural Serranía de Alta Cuenca quien encontró un 73,20 % del área estudiada con riesgo medio y alto para la frecuencia de incendios. Esto puede ser debido a que el autor utilizó para el cálculo de este índice un periodo de 15 años y un tamaño para las celdas de 100 km<sup>2</sup>, la discrepancia de estos resultados puede estar dada también por el tipo de clima predominante y las diferencias existentes entre las variables ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitaciones) del Parque con respecto a las del área de estudio.



**Figura 1.** Zonificación de la EF Macurije según el índice de frecuencia (2007 – 2011)

En la Figura 2 se muestra la zonificación del riesgo a partir del índice de causalidad para la EF Macurije. De acuerdo con la escala de la Tabla 2, el 22,80 % (17740,97 ha) del área estudiada presenta riesgo medio y alto para la peligrosidad específica de las causas de incendios, lo cual responde al alto porcentaje de incendios en estas celdas originados de forma intencional, causa a la cual corresponde el mayor coeficiente de peligrosidad específica, mientras que el 77,20 % del área estudiada presenta un riesgo bajo, debido al elevado porcentaje de incendios en estas cuadrículas originados por rayos y negligencias, causas con bajos y medios coeficientes de peligrosidad específica. Estos resultados coinciden con los alcanzados por Cabrera (2009), quien obtuvo una peligrosidad de las causas baja para la EF Macurije.

En las celdas que presentan riesgo medio y alto para la peligrosidad específica de las causas de surgimiento de incendios forestales debe trabajarse para que pasen a riesgo bajo. Para esto pudieran implementarse acciones que permitan desarrollar en las personas hábitos y estilos de vida que orienten su comportamiento hacia la disminución de las actividades que originan incendios forestales. También es importante

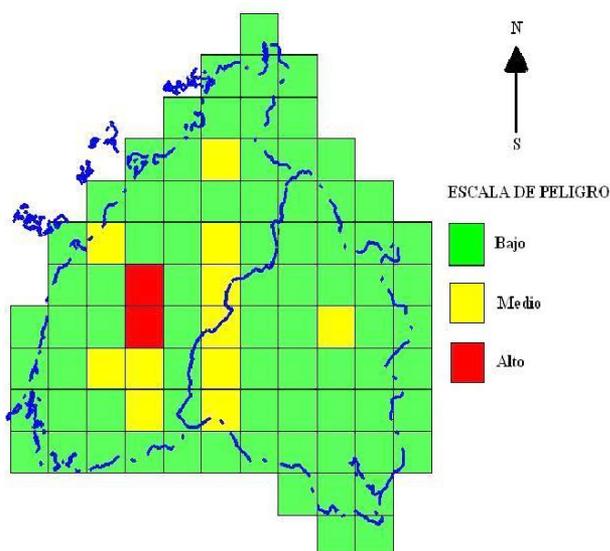


Figura 2. Zonificación de la EF Macurije según el índice de causalidad (2007 – 2011)

ejecutar medidas de silvicultura preventiva y divulgar posibles alternativas al uso del fuego y la legislación vigente sobre el manejo del fuego.

De acuerdo con la Tabla 12 el valor del índice de inflamabilidad ( $I_i$ ) para cada conglomerado en la EF Macurije es alto. Este resultado puede responder al hecho de que en el área de la empresa predominan los bosques de *Pinus* sp, los cuales ocupan el 53,57 % (41689,54ha), siendo el coeficiente de peligrosidad relativa para esta especie, mayor que para el *Eucalytus* sp, coincidiendo con los resultados obtenidos por Mascaraque (2003), quien encontró el mayor riesgo de incendios para la inflamabilidad, en las zonas donde abundan los pinares. Agrega este autor que las especies de pinos pertenecen a modelos de combustibles altamente inflamables. Estos resultados difieren de los obtenidos por Rodríguez (1999), quien obtuvo coeficientes más altos para el *Eucalytus* sp que para la *Pinus* sp en la provincia de Pinar del Río.

Tabla 12. Índice de inflamabilidad promedio para cada conglomerado

Conglomerados	Valores del ( $I_i$ )
1	2,29
2	2,60
3	2,60

En la Figura 3 se observa la zonificación del local riesgo de incendios. De acuerdo con esto el 3,50 % del área (2723,39 ha) presenta una peligrosidad alta, mientras que el 96,49 % del área (75080,12 ha) mostró una peligrosidad media y baja para el surgimiento y propagación de los incendios forestales. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Tejado (2007) en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, España; Jordán (2010) durante la confección del Plan de Defensa contra Incendios Forestales para el Parque Natural Serranía de Alta Cuenca y Capote et al. (2011) en la elaboración del mapa de riesgo potencial de incendios forestales de Castilla – La Mancha, quienes encontraron que la mayor parte de la superficie por ellos estudiada presentó una peligrosidad media y baja para el surgimiento y propagación de los incendios forestales. De acuerdo con Capote et al. (2011) será en la

superficie que mostró una peligrosidad alta, donde habrá que poner especial atención, tanto desde el punto de vista de ejecutar trabajos relacionados con la disminución de la peligrosidad del bosque, como con la asignación y distribución de medios contra incendios.

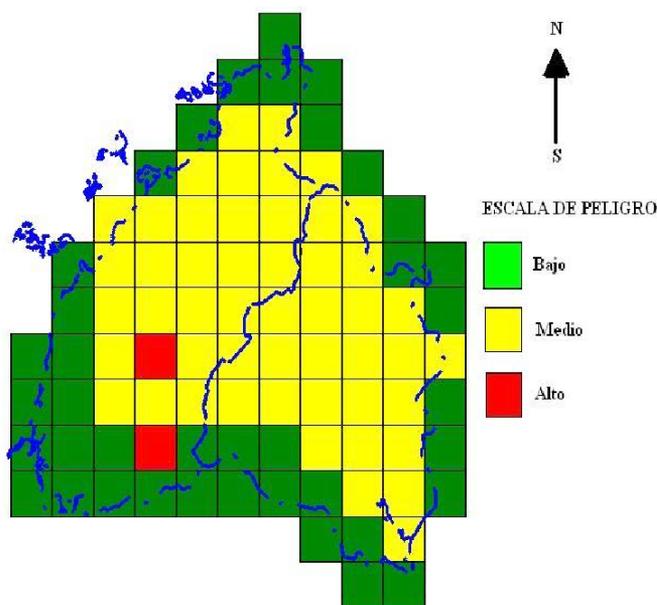


Figura 3. Zonificación de la EF Macurije según el grado básico de peligro (2007 – 2011)

## Conclusiones

La evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales en la EF Macurije permitió precisar que la época de incendios se ubica de marzo a junio, mientras que la mayor cantidad de incendios ocurrió entre las 14:00 y las 17:00 horas. La distribución de los incendios durante los días de la semana fue similar. El grupo de los *Pinus* sp, al igual que las plantaciones, es el más afectado por los incendios. La causa que reportó la mayor cantidad de incendios y de áreas quemadas fue el rayo

La metodología utilizada para obtener el riesgo local de incendios en la EF Macurije demostró su factibilidad de aplicación, así como la simplicidad para su actualización ante los posibles efectos del cambio climático, su carácter dinámico y su posible inclusión en un índice de peligro, priorización de actuaciones o vulnerabilidad, que incluya un mayor cantidad de factores o variables que influyen o repercuten en la propagación de los incendios forestales

La zonificación del área de la EF Macurije, de acuerdo con el riesgo local de incendios, permitió definir que solo el 3,50 % del área (2723,39 ha) tienen un peligro alto de surgimiento y propagación de los incendios

## Literatura Citada

Cabrera, J. Programa de comunicación sobre el uso del fuego y los incendios forestales para la provincia Pinar del Río. Pinar del Río. Universidad de Pinar del Río. Cuba, 2009. 84p. Tesis Maestría.

- Capote, M.; Montolla, J. M.; Selva, M.; Fernández, L.; Jordán, E. Mapa de riesgo potencial de incendios forestales de Castilla – La Mancha, España. *Foresta*, n.47-48, p.164-167, 2011. <<http://www.forestales.net/archivos/forestal/especial%20castilla-la%20mancha/Incendios-Forestales.pdf>>. 05 Nov. 2012.
- Castro, J. Comportamiento histórico de los incendios forestales en la Empresa Forestal Integral “Macurije” de 1999 al 2008. Pinar del Río. Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2009. 65p. Tesis Graduación.
- Dentoni, M. C.; Muñoz, M. M. Sistemas de evaluación de peligro de incendios. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005. 28p. <<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/File/Sistemas%20de%20Evae%20Incendios.pdf>>. 28 Set. 2012.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. La gestión de los bosques ante el cambio climático. <<http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>>. 28 Set. 2012.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. State of Forestry in the Latin American and Caribbean Region – 2004. Santiago: FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, 2005. 101p.
- Franchés, M. J.; Escudero, O. Aplicaciones SIG en el campo forestal. *Mapping*, n.27, p.56-60, 1995.
- García, H. J. Evaluación del comportamiento histórico de los incendios forestales en la provincia Pinar del Río de 1997 al 2006. Pinar del Río. Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2007. 71p. Tesis Graduación.
- Jordán, A. Plan de defensa contra incendios en el Parque Natural Serranía Alta de Cuenca. Gandia: Universidad Politécnica de Valencia; Escuela Politécnica Superior de Gandia, 2010. 116p. Tesis Graduación. <<http://riunet.upv.es/handle/10251/9526>>. 28 Set. 2012.
- Madoui, A. Forest Fire in Algeria and the Case of the Domanial Forest of Bou-Taleb, Setif. *International Forest Fire News*, n.22, p.9-14, 2000. <[http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/dz/dz\\_1.htm](http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/dz/dz_1.htm)>. 28 Sep. 2012.
- Mascaraque, A. Índices de causalidad y riesgo de incendio en los espacios protegidos de la comunidad de Madrid. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 2003. 98p. Tesis Graduación. <<http://oa.upm.es/911/>>. 28 Set. 2012.
- NASA. The current and future consequences of global change. <<http://climate.nasa.gov/effects>>. 27 Set. 2012.
- Pyne, S. J. *World fire: the culture of fire on Earth*. Seattle, WA: University of Washington Press, 1997. 384p.
- Rodríguez, M. P. Bases metodológicas para el perfeccionamiento de la prevención de incendios forestales. Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río, 1999. 100p. Tesis Doctorado.
- Rodríguez, M. P. Sistema integrado para el manejo de bases de datos sobre incendios forestales (SIMBDIF v. 1.2). En: Congreso Forestal Venezolano, 3., Ciudad Bolívar, 2002. Resúmenes... Mérida: ULA, 2002. p.127.
- Rodríguez, M. P. Desempeño de los índices de Nesterov, fórmula de Monte Alegre e fórmula de Monte Alegre alterada en la empresa Forestal Macurije, Pinar del Río, Cuba. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. 90p. Tese Pós-Doutorado.
- Rodríguez, M. P., Cabrera, J. M.; Ortez, L. A. Eficiencia de la protección contra incendios forestales en Pinar del Río, Cuba. *Revista Forestal Baracoa*, v.27, n.2, p.31-40, 2008. <[http://www.researchgate.net/publication/228881199\\_EFICIENCIA\\_DE\\_LA\\_PROTECCIN\\_CONTRA\\_INCENDIOS\\_FORESTALES\\_EN\\_PINAR\\_DEL\\_RO](http://www.researchgate.net/publication/228881199_EFICIENCIA_DE_LA_PROTECCIN_CONTRA_INCENDIOS_FORESTALES_EN_PINAR_DEL_RO)>. 28 Set. 2012.
- Rodríguez, M. P.; Soares, R. V. Análisis comparativo entre los incendios forestales en Monte Alegre, Brasil y Pinar del Río, Cuba. *Revista Floresta*, v.34, n.2, p.101-107, 2004. <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/2379>>. 28 Set. 2012.
- Rodríguez, M. P.; Soares, R. V. Comportamiento histórico de los incendios forestales en la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Floresta*, v.28, n.1-2, p.3-18, 1998. <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/2304>>. 28 Set. 2012.
- Soares, R. V. Ocorrência de incêndios florestais em reflorestamentos. In: Seminário Nacional sobre Incêndios Florestais e Queimadas, 1., 1995, Brasília. Brasília: IBAMA, 1992. 15p.
- Tejedo, S. P. Mejorando la calidad de la valoración del riesgo local de incendio: aplicación al futuro Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. *Oppidum*, n.3, p.381-414, 2007. <[http://oppidum.es/numeros/oppidum\\_03/abstracts/17.html](http://oppidum.es/numeros/oppidum_03/abstracts/17.html)>. 28 Set. 2012.
- Vélez, R. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias Madrid: McGraw-Hill, 2000. 780p.
- Vélez, R. Defensa contra incendios en el medio natural. En: Tratado del Medio Natural. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 1981. Tomo IV, p.293-348.
- Vélez, R. Instrumentos de planificación: índices de predicción de riesgos. Estructura de un sistema de predicción. En: Vélez, R. (Ed.) La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. 2.ed.. Madrid: McGraw-Hill, 2009. p.242-251.
- Wadsworth, F. H. Producción forestal para América Tropical. Washington: USDA. Forest Service: CATIE: IUFRO, 2000. 603p. (USDA. Servicio Forestal. Manual de Agricultura, 710-S).