

PROPUESTA DE UN ÍNDICE METEOROLÓGICO DIARIO DE PELIGRO PARA ELEVAR LA EFICACIA DE LA PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN SANTA CLARA, VILLA CLARA, CUBA

M. Sc. Pedro Rafael Zamora González,¹ Dr. Marcos Pedro Ramos Rodríguez,² M. Sc. Isabel María Domínguez Hurtado,³ Dr. Fernando Hernández Martínez² y Dr. Rogelio Sotolongo Sospedra²

¹ Delegación Provincial del Ministerio del Interior. Carretera Central, Banda a Placetas Km 306, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270, esq. a 27 de noviembre, Pinar del Río 1, CP 20100, Cuba, cmramos@af.upr.edu.cu

³ Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara. Marta Abreu 59 (altos), e/ J. B. Zayas y Villuendas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, ismabel@cmp.vcl.cu

RESUMEN

La investigación tiene por objetivo elevar la eficacia de la prevención y extinción de incendios forestales en Santa Clara a partir del establecimiento del método más adecuado para estimar el peligro de incendio forestal. En el desarrollo del trabajo queda fundamentada teóricamente la importancia que tiene la estimación del índice meteorológico diario de peligro de incendios forestales. Se comparan tres métodos: Nesterov I, Nesterov II y la Fórmula de Monte Alegre. Las principales conclusiones a las que se arriban son la comparación de los métodos de Nesterov I, Nesterov II y Fórmula de Monte Alegre (FMA) para la estimación del índice meteorológico diario de peligro de incendios forestales. El método más eficiente resultó la FMA, según el cual el 86% de los incendios se ubicaron en las cla-

ABSTRACT

The investigation has for objective to elevate the effectiveness of the prevention and extinction of forest fires in Santa Clara starting from the establishment of the most appropriate method to estimate the danger of forest fire. In the development of the work it is based the importance that has the estimate of the index meteorological newspaper of danger of forest fires theoretically. Three methods are compared: Nesterov I, Nesterov II and Monte Alegre. The main conclusions to those that you arrives are: the methods of Nesterov I was compared, Nesterov II and the Formula of Monte Alegre (FMA) for the estimate of the index meteorological newspaper of danger of forest fires being the most efficient the method of the FMA according to which 86% of the fires was

ses de peligro D y E. Por otra parte, la humedad relativa, variable meteorológica que utiliza el método de la FMA, constituye un buen indicador del peligro de incendio forestal, pues ocurrieron únicamente cuando estos valores se presentaron entre 30 y 67%, los cuales no son frecuentes tanto en Santa Clara como en el resto del país.

Palabras clave: índice meteorológico, peligro de incendios forestales, prevención, extinción, variable meteorológica

located in the classes of danger D and E. On the other hand, the relative humidity, meteorological variable that uses the method of the FMA, constitutes a good indicator of the danger of forest fire because these they only happened when these values were presented between 30 and 67% which are not you frequent as much in Santa Clara as in the rest of the country.

Words key: meteorological index, danger of forest fires, prevention, extinction, meteorological variable

INTRODUCCIÓN

La destrucción indiscriminada de los bosques es uno de los problemas serios que enfrenta el mundo de hoy, motivada por diferentes causas, entre las principales los incendios forestales. Por tal motivo este problema no controlado y a la vez alarmante está recibiendo la atención de los gobiernos y organizaciones internacionales. Cuba no está exenta de las incidencias de este fenómeno. Son afectados aproximadamente el 0,2% de la superficie total cubierta de bosques cada año. En el período 1996-2005 ocurrieron como promedio anual 306 incendios y se afectaron 10 009,10 ha [CGB, 2006].

En relación a lo anterior, Villa Clara en los últimos años es una de las provincias donde este problema tiene cada vez mayor importancia por la creciente incidencia de incendios y de afectaciones. Se reportó en el período 1998-2005 la ocurrencia de 241 incendios forestales que afectaron 7 317,48 ha de bosques, con pérdidas económicas de \$32 281 971.50. En esta provincia, al igual que en el resto del país, la época de incendios es de febrero a mayo, período en el que ocurre el 92% de ellos.

Dentro esta provincia, y en el período antes mencionado, se identifica el

municipio de Santa Clara como el de mayor incidencia y afectaciones con 93 incendios forestales y 1 585,21 ha de bosques afectadas, lo que representa el 41,4 y 21,6% respectivamente del total de estos dos indicadores.

De lo anterior se deriva la importancia que tiene contar con un sistema eficiente de protección contra incendios que permita reducir su ocurrencia y propagación.

Para contrarrestar el desarrollo de estos fenómenos y sus efectos negativos existen varios métodos, entre los cuales ocupa un lugar significativo los de predicción del peligro presente en las áreas forestales para que ocurra un incendio, lo que permitirá una mejor planificación en la elaboración de los programas de protección, tanto en la parte relacionada con la prevención de estos siniestros como en la mejor distribución y asignación de los recursos para su combate y extinción. Dentro de este grupo uno de los más utilizados es el peligro meteorológico.

Los sistemas de determinación del peligro de surgimiento y propagación de incendios según las condiciones

meteorológicas pueden estar formados por un único índice o por varios, basados generalmente en factores meteorológicos. Entre los países con mayor desarrollo en su empleo están Canadá, Estados Unidos, Australia, España, Brasil y México.

En Cuba se utiliza desde hace varios años el índice integral de Nesterov. En la provincia de Villa Clara se recibe un parte agrometeorológico a mediano y largo plazos que ayuda a tomar decisiones. Recientemente se ha comenzado a aplicar el método de Nesterov. No obstante, se evidencia la necesidad de perfeccionar este sistema a fin de desarrollar acciones diarias de prevención y extinción de incendios forestales con la mayor eficacia posible.

Teniendo en cuenta los elementos anteriormente expuestos, el este trabajo tiene como objetivo general elevar la eficacia de la prevención y extinción de incendios forestales en Santa Clara a partir del establecimiento del método más adecuado para estimar sus peligros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El presente trabajo se realizó en el municipio de Santa Clara, provincia de Villa Clara. A continuación se dan distintas características de este municipio según Moner (2006).

La extensión superficial es de 40,6 km² y su posición aproximada esta dada por el punto de confluencia de las coordenadas geográficas 22° 03' 00" de latitud norte y 79° 57' 00" de longitud oeste.

El territorio limita al norte con los municipios de Cifuentes y Camajuaní, al sur con el municipio de Manicaragua, al este con el de Placetas y al oeste con el de Ranchuelo.

Según la clasificación de Köppen (modificada), el municipio de Santa Clara es cálido tropical, con estación lluviosa en el verano. Las temperaturas son generalmente altas. Los valores medios anuales van desde los 20,85°C hasta 26,4°C. El mes más frío es enero con 16,13°C, y el más caluroso agosto con 32,3°C. El elemento que más varía son las precipitaciones. En la mayor parte del territorio se reconocen dos temporadas fundamentales: lluviosa (de mayo a octubre y) poco lluviosa (de noviembre a abril). El mes más lluvioso es junio con 231 mm, y el más seco diciembre con un acumulado de 31 mm como promedio para el municipio. La humedad relativa media es alta, con promedios cercanos al 82%. Los máximos diarios, generalmente superiores al 90%, ocurren a la salida del sol, mientras que los mínimos descienden al mediodía hasta 60%. En el municipio predominan los vientos de componente este con velocidades entre 6,1 y 9,4 km/h.

Obtención de los datos

Los datos utilizados en la investigación fueron obtenidos en el Centro Meteorológico Provincial en Villa Clara, del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, y en la Jefatura del Cuerpo de Guardabosques de la provincia. En el primer caso se obtuvieron informaciones de factores como temperatura seca, temperatura del punto de rocío, humedad relativa y precipitación. Estas informaciones fueron

tomadas a la una de la tarde, según recomiendan varios autores que trabajan con los índices de peligro de incendio [Soares, 1985; Batista *et al.*, 2001; Vélez, 2000]. En el segundo caso se utilizaron los datos correspondientes a las ocurrencias de incendios en el período 1998-2005 de febrero a mayo, que son los correspondientes a la época de incendios forestales.

Métodos para la estimación del peligro de incendios forestales

Para la estimación del peligro de incendios forestales se emplearon los métodos de Nesterov I, Nesterov II y la Fórmula de Monte Alegre (FMA). En los tres casos los datos meteorológicos se obtuvieron a la una de la tarde.

La determinación del peligro por el método de Nesterov I, utilizado hoy en Cuba, de acuerdo con Batista *et al.* (2001), se muestra a continuación:

$$I = \sum_{i=1}^n T_s * (T_s - T_{pr})$$

donde:

I: Índice integral de peligrosidad

T_s : Temperatura seca del aire (°C)

T_{pr} : Temperatura del punto de rocío (°C)

n: Número de días consecutivos en los cuales han caído menos de 10 mm de precipitación, medidos a la una de la tarde

Este índice es acumulativo. Según sea el valor de la suma acumulada se obtendrá una categoría (Tabla 1).

TABLA 1
Categorías de peligro según el valor de la suma acumulada

Categoría	Valor de la suma
A	0-500
B	501-1 300
C	1301-2 500
D	2501-4 500
E	Más de 4 500

El método de Nesterov II consiste en utilizar la misma ecuación del método anterior, pero con las restricciones que impone la precipitación según el método de la FMA.

Para el cálculo de la Fórmula de Monte Alegre [Batista *et al.*, 2001], que es un índice acumulativo también, son necesarias dos variables meteorológicas: humedad relativa del aire y precipitación. Esta última se utiliza

para establecer las restricciones al cálculo.

La ecuación para el cálculo del índice es la siguiente:

$$FM A = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_I}$$

siendo

FMA: Fórmula de Monte Alegre

H: Humedad relativa a la una de la tarde (%)

n: Número de días sin lluvia

La escala de peligro de la FMA se muestra en la *Tabla 2*.

Restricciones a las estimaciones de los métodos utilizados

Las restricciones se establecieron a partir de las precipitaciones. Esta variable en sí misma no presenta correlación con la ocurrencia de los incendios, pero sí es importante el número de días sin lluvias antes de

la ocurrencia y la cantidad de lluvia, lo cual puede modificar el grado de peligro. Por esto se establecen las restricciones en dependencia de ellas. Actualmente el método utilizado en Cuba, Nesterov I en este trabajo, tiene una sola restricción por la precipitación, consistente en detener la suma acumulada cuando ocurren precipitaciones de 10 mm o más. En esta investigación además se utilizan las restricciones del método de la FMA para Nesterov II y para este propio método, que se muestran en la *Tabla 3*.

TABLA 2
Escala de peligro de la FMA

<i>FMA</i>	<i>Grado de peligro</i>
? 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeño
3,1 a 8,0	Medio
8,1 a 20,0	Alto
? 20,1	Muy alto

TABLA 3
Restricciones del cálculo de la fórmula de Monte Alegre

<i>Lluvia (mm)</i>	<i>Modificaciones en el cálculo</i>
? 2,4	Mucha humedad. Continuar el cálculo normalmente
2,5 a 4,9	Disminuir el 30% de la FMA calculada en la víspera y sumar el 100/H del día
5,0 a 9,9	Disminuir el 60% de la FMA calculada en la víspera y sumar el 100/H del día
10,0 a 12,9	Disminuir el 80% de la FMA calculada en la víspera y sumar el 100/H del día
? 13,0	Abandonar el cálculo y recomenzar al día siguiente

Comparación de los métodos

Se calcularon los índices de peligro de incendios diariamente para el período de ocho años de febrero a

mayo por el método de Nesterov I, Nesterov II y FMA de acuerdo con las metodologías explicadas en los epígrafes anteriores. De esta forma fue

posible obtener los valores de cada método diariamente bajo las distintas restricciones. Luego se hizo el análisis estadístico correspondiente para determinar la eficiencia de cada método. Este análisis se realizó con el empleo del SPSS versión 12, y consistió en un análisis de porcentajes, prueba de Friedman, de Wilcoxon y gráficos de dispersión.

El análisis del porcentaje se utilizó para comparar la eficiencia de los tres métodos al permitir observar con claridad la distribución de las predicciones para cada una de las clases de peligro. La prueba de Friedman se empleó para comparar la existencia o no de diferencias significativas entre los tres métodos. La prueba de Wilcoxon se aplicó para precisar la existencia o no de diferencia significativa entre cada pareja de métodos. Finalmente los gráficos de dispersión permitieron observar la distribución del número de incendios forestales según los valores diarios de la temperatura seca, la del punto de rocío y la humedad relativa.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Comparación de los métodos utilizados

A partir de los índices calculados para el día fue posible agrupar la cantidad de incendios ocurridos en las categorías del índice por cada uno de los tres métodos. A continuación se determinaron los porcentajes correspondientes (Tabla 4). Puede observarse que en el caso de la Fórmula de Monte Alegre el 86% de los incendios se agrupan en las clases D y E correspondientes a alto y extremo peligro respectivamente, mientras que en el caso de los métodos de Nesterov I y Nesterov II este valor es de solo el 63,70 y el 60% respectivamente. También es significativo el hecho de que cada vez que el método de la FMA indicó que el peligro era nulo –categoría A–, no ocurrieron incendios, lo que no ocurrió con los otros dos métodos. Este resultado coincide con el alcanzado por Soares y Paez (1973) en la Región Centro-Paranense en Brasil.

TABLA 4

Distribución de los incendios y sus respectivos porcentajes en cada categoría de peligro para los tres métodos utilizados

Categorías	Nesterov I		Nesterov II		FMA	
	Días con incendios	Porciento	Días con incendios	Porciento	Días con incendios	Porciento
A (Nulo)	5	5,80	4	4,70	0	0,00
B (Bajo)	9	10,60	8	9,40	5	5,80
C Moderado)	17	20,00	22	6,00	7	8,20
D (Alto)	21	24,70	28	33,00	33	39,00
E Extremo)	33	39,00	23	27,00	40	47,00
Total	85	100,00	85	100,00	85	100,00

De acuerdo con los resultados anteriores puede señalarse que el método conocido como Fórmula de Monte Alegre es el que muestra mejores posibilidades de aplicación práctica, pues permite tomar decisiones más acertadas en la prevención y la disposición combativa de las brigadas profesionales de prevención y combate a los incendios forestales y el correspondiente estado de alerta para los tenentes y/o administradores de las áreas boscosas, así como a

los demás integrantes del sistema de protección contra incendios forestales en el municipio.

La comparación entre los tres métodos se hizo primero mediante la prueba de Friedman. Como resultado se obtuvo la existencia de diferencia significativa entre los métodos (*Tabla 5*). Para confirmarlo posteriormente se utilizó la prueba de Wilcoxon o prueba de Z, para obtener una diferencia significativa también entre las parejas de métodos (*Tabla 6*).

TABLA 5
Resultados de la prueba de Friedman

<i>Aspectos</i>	<i>Valores</i>
N	962
Chi-cuadrado	256,120
Grados de libertad	2
Diferencia	0,000

TABLA 6
Resultados de la prueba de Wilcoxon

	<i>N-II / N-I</i>	<i>FMA / N-I</i>	<i>FMA / N-II</i>
Z	-8,860	-13,083	-8,747
Significación	0,000	0,000	0,000

También puede justificarse la eficiencia del método FMA al analizar los gráficos de dispersión obtenidos para el número de incendios ocurrido de acuerdo con la temperatura seca, la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa (*Figs. 1, 2 y 3*). Los métodos Nesterov I y Nesterov II utilizan las variables meteorológicas temperatura seca y temperatura del punto de rocío. Se observa la distribución de los incen-

dios entre los 24 y los 34°C, temperaturas frecuentes a la una de la tarde durante los meses del experimento. Tendencia similar ocurre en el caso de la temperatura del punto de rocío, con una distribución de los incendios entre los 9 y los 22°C; sin embargo, en el caso de la humedad relativa –única variable utilizada por el método FMA–, los incendios se distribuyen entre el 30 y el 67% de humedad, coincidiendo con lo plan-

teado por Mérida (2000), según el cual valores de la humedad relativa alrededor del 30% desencadenan condiciones muy favorables para el inicio y la propagación del fuego. Precisamente estos valores no se presentan con frecuencia en Santa Clara ni en el resto del país. Esto se corresponde con el hecho de que la mayor cantidad de incendios, según este método, ocurre cuando su categoría es D o E.

Es importante destacar que, según Schreder y Back (1970), citados por Soares y Páez (1973), la humedad atmosférica es un elemento clave en las condiciones meteorológicas de los incendios, pues ella tiene un efecto directo sobre la inflamabilidad de los combustibles forestales y a través de sus interrelaciones con ciertos factores climáticos tiene efectos indirectos sobre otros aspectos del comportamiento del fuego.

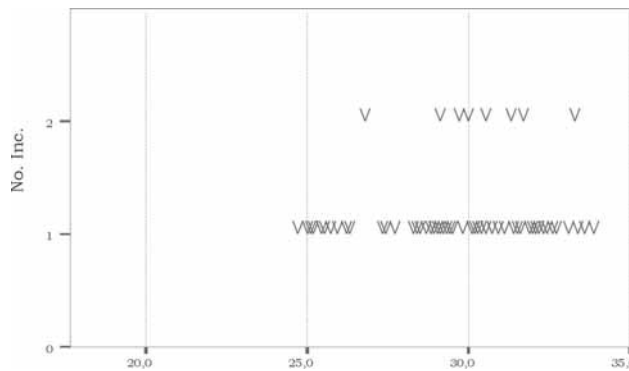


Fig.1. Gráfico de dispersión para el número de incendios de acuerdo con la temperatura seca (T_s).

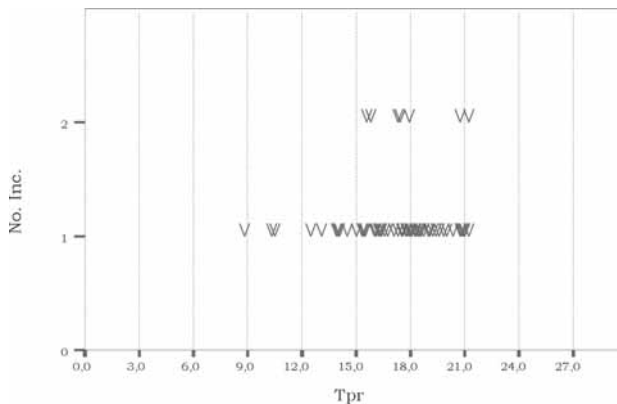


Fig. 2. Gráfico de dispersión para el número de incendios de acuerdo con la temperatura del punto de rocío (T_{pr}).

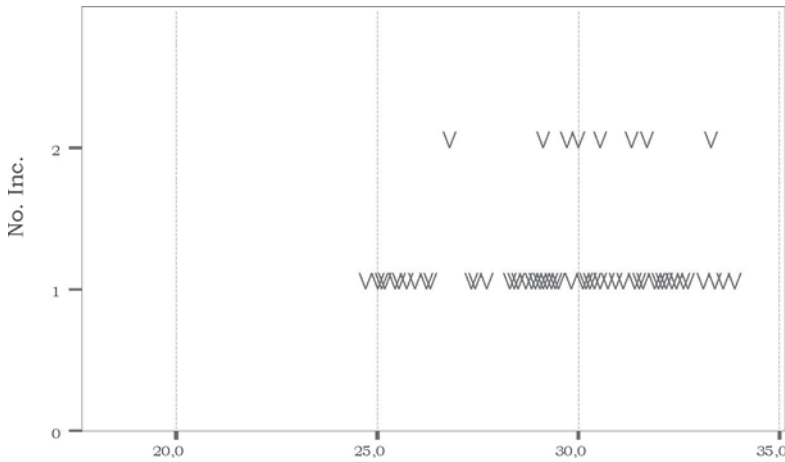


Fig. 3. Gráfico de dispersión para el número de incendios de acuerdo con la humedad relativa (Hr)

CONCLUSIONES

- Se compararon los métodos de Nesterov I, Nesterov II y fórmula de Monte Alegre (FMA) para la estimación del índice meteorológico diario de peligro de incendios forestales. El más eficiente resultó el método de la FMA, según el cual el 86% de los incendios se ubicaron en las clases de peligro D y E.
- La humedad relativa, variable meteorológica que utiliza el método de la FMA, constituye un buen indicador del peligro de incendio forestal, pues ocurrieron únicamente cuando estos valores se presentaron entre el 30 y el 67%, que no son frecuentes ni en Santa Clara ni en el resto del país.

BIBLIOGRAFÍA

- BATISTA, A. C ; M. P. RAMOS; M. FIGUEREDO: 2001: *Manual sobre prevención de incendios forestales. Diseño para una estrategia para el combate de incendios forestales*, Proyecto TCP/CUB/00066-FAO-Cuba, marzo del 2001.
- CGB: «Estadísticas de incendios forestales», Departamento de Manejo del Fuego, Jefatura Nacional del Cuerpo de Guardabosques, La Habana, 2006.
- MÉRIDA, J. C.: «Factores meteorológicos», *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*, McGraw-Hill/Interamericana de España, 2000.
- MONER, G. M.: «Proyecto A21Local-GEO, Informe-resumen, CITMA, Santa Clara, Cuba, 2006.
- SOARES, R. V.; G. PÁEZ: «Una nueva fórmula para determinar el grado de peligro de incendios forestales en la región Centroparanense», II Congreso Forestal Brasileño, 1973.
- SOARES, R. V.: *Incêndios florestais. Controle e uso do fogo*, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba, 1985.
- VÉLEZ, R.: «Los índices meteorológicos de peligro», *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*, McGraw-Hill/Interamericana de España, 2000.