

Sistema de vigilancia y alerta de condiciones agrometeorológicas de peligro potencial de incendios de vegetación.

Autores: OSCAR SOLANO*, RANSÉS VÁZQUEZ*, JORGE A. MENÉNDEZ*, EDUARDO PÉREZ* Y MAYLÍN FIGUEREDO LEÓN**

* Instituto de Meteorología. E-mail: agromet@met.inf.cu

** Cuerpo Nacional de Guardabosques de la República de Cuba.

Resumen

El sistema de vigilancia se sustenta en el seguimiento de las condiciones agrometeorológicas que influyen en el contenido de humedad del suelo, de la vegetación viva y de sus partes muertas, a partir de las cuales se pueden inferir condiciones de peligro potencial capaces de originar y propagar los incendios de vegetación. Se diseñó un sistema de alerta para diferentes escalas temporales y se estableció en la práctica operativa en dos variantes, a nivel nacional (los avisos tempranos de alerta) y a nivel provincial (los avisos avanzados e inmediatos de alerta). Se expone como fluye la información de alerta resultante de la vigilancia de las condiciones de peligro potencial de incendios de vegetación y algunos resultados de la aplicación práctica del índice agrometeorológico de peligro en la emisión de avisos tempranos de alerta a largo plazo. El índice fue evaluado con los reportes de incendios forestales ocurridos en la región occidental del país durante los años 1999 y 2000 y con los reportes de incendios forestales ocurridos en todo el país durante los años 2001 y 2002, para el pronóstico de condiciones de peligro de ocurrencia de incendios en la vegetación a largo plazo. El sistema de vigilancia de peligro potencial de incendios de vegetación diseñado ha sido probado en todas las regiones del país para los incendios forestales. Este sistema ha permitido, al Cuerpo de Guardabosques de Cuba, fortalecer la actividad preventiva y ganar en eficiencia operativa durante el período de alta peligrosidad de ocurrencia de incendios forestales en Cuba.

Palabras clave: Incendios forestales, Índice de peligro de incendios, Vigilancia agrometeorológica.

Introducción

Durante las últimas décadas ha sido observada, en el mundo, una notable tendencia al aumento de los incendios forestales, y los bosques cubanos no han sido una excepción de esta tendencia.

Según los resultados de las investigaciones del Centro del Clima del Instituto de Meteorología, en las últimas tres décadas la temperatura media del aire ha aumentado 0,6 °C, se ha incrementado la presencia de tormentas severas que vienen acompañadas de vientos fuertes y descargas eléctricas, y se ha elevado la frecuencia e intensidad de los huracanes y de las sequías (Centella *et al.* 1997), eventos que de una u otra forma repercuten en la ocurrencia de los incendios de vegetación. El ascenso general apreciado en las temperaturas ha estado acompañado de una reducción del total de precipitaciones anuales de 10 a 20% y un aumento de la variabilidad interanual de 5 a 10%, con la característica de que las precipitaciones han estado disminuyendo en el período lluvioso del año (de mayo a octubre) y han aumentado en el período poco lluvioso (Lapina *et al.* 1993).

Según Gutiérrez *et al.* (1999), el resultado combinado de la disminución generalizada de la densidad potencial de biomasa y la productividad primaria neta de los bosques, esperada por el efecto del cambio climático durante el siglo en curso, específicamente en la región oriental del país, traerá como consecuencia la reducción progresiva del factor de sostenibilidad de los bosques y su evolución hacia bosques más secos, muy secos o sabanas. Estos ecosistemas más secos, en presencia de temperaturas más elevadas y mayor déficit de saturación del aire, se verán considerablemente más expuestos al peligro de incendios forestales que los actuales (Ávila *et al.* 1985).

Los aspectos anteriores a los que se ha hecho referencia indican la necesidad de incrementar las medidas que se utilizan para la prevención de los incendios forestales, más aún, cuando el área afectada por estos siniestros durante los últimos 22 años (Solano y Vázquez, 2004) muestra una tendencia al aumento.

Los incendios forestales están muy relacionados con la presencia de los períodos de tiempo seco y con la sequía ya establecida, por ello, Solano (2001)

empleó algunos modelos que toman en cuenta la precipitación efectiva, la demanda de evaporación de la atmósfera y las características del suelo y la vegetación, las cuales influyen, directa o indirectamente, en el contenido de humedad de la vegetación viva y de sus partes muertas que se encuentran en el entorno, y con ellos, determinó un índice agrometeorológico para evaluar las condiciones de peligro potencial de incendios de vegetación que ocasiona la presencia de la sequía agrícola y de las condiciones existentes en el índice de humedecimiento modificado, a partir de la influencia de determinados factores atmosféricos y del suelo sobre la vegetación. La sequía agrícola aparece cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de agua del suelo y las pérdidas debidas a la evapotranspiración se combinan para causar disminuciones considerables en el rendimiento de los cultivos y el ganado (el resultado de ello es una producción alimentaria poco elevada, malas condiciones de pastoreo, una baja rentabilidad de los trabajos y de la inversión agrícola, condiciones propicias para el origen de incendios en la vegetación, una menor disponibilidad de madera para la combustión, un mayor riesgo de desertificación y las consecuencias sociales y económicas conexas, incluida una inseguridad en el suministro de alimentos). La concepción del índice fue puramente teórica para evaluar condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación durante la sequía agrícola de corto período que afectó al país en la primera mitad del año 1998 (Solano *et al.*, 2000b). No se dispuso en aquel entonces de una base adecuada de incendios forestales para conocer estadísticamente su efectividad, pero si estuvo claro que existía una buena correspondencia entre los resultados de las evaluaciones del índice y los reportes de algunos incendios conocidos por los medios masivos de información y por especialistas del Cuerpo de Guardabosques de Cuba. El índice agrometeorológico de peligro fue expresado inicialmente en una escala de seis puntos y posteriormente su autor la redujo a cinco.

Muchas de las técnicas de predicción agrometeorológica se basan en la relación estadística que existe entre las variables dependientes que han de ser estimadas (rendimiento de la cosecha, agotamiento de las reservas de agua productiva del suelo, etc.) y las variables agrometeorológicas independientes (precipitación, temperatura, etc.), o las variables deducidas (consumo de agua por las plantas, índice de humedad del suelo, influencia de la humedad atmosférica, etc.). Las variables independientes o elementos predictores pueden ser seleccionadas con facilidad por un agrometeorólogo de experiencia o por intuición.

En muchos países las predicciones agrometeorológicas constituyen hoy en día el medio más importante de servir a la agricultura. Las predicciones agrometeorológicas tratan de la evaluación del estado presente y futuro de las plantas cultivadas, animales de granja y bosques, las cuales podrían ser denominadas predicciones de las plantas y animales sin predicción meteorológica, ya que utiliza los datos meteorológicos reales pasados y presentes (y no sus valores extrapolados en el futuro) para pronosticar la evolución futura de determinados aspectos de las plantas y animales. Este método se basa en dos principios: a) la continuación de la actual inercia de las condiciones formadas (por ejemplo, estado general de salud y buena situación) y su medio ambiente (es decir, el clima general de la zona en los cuales se desarrollan); y b) la dependencia de la actual inercia de las plantas y animales con respecto a las condiciones meteorológicas presentes y pasadas.

El objetivo general de este trabajo fue utilizar los conocimientos agrometeorológicos más novedosos de la literatura internacional, adaptarlos a las condiciones de Cuba y diseñar un sistema de vigilancia y alerta de condiciones agrometeorológicas de peligro potencial de incendios de vegetación a partir de las condiciones climáticas, utilizando para ello técnicas avanzadas de procesamiento de datos y los Sistemas de Información Geográfica.

Los objetivos específicos fueron:

- Obtener un índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios de vegetación que permita describir, por métodos objetivos, el comienzo, el fin, la duración y evolución temporal, espacial y de la intensidad, en una escala adecuada para fines exploratorios.
- Diseñar un método que permita pronosticar el peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación a partir de las condiciones de humedad formadas en la vegetación viva y en los restos de sus partes muertas.
- Aplicar el contenido de los puntos anteriores en el servicio agrometeorológico operacional dirigido a la agricultura y diseñar un sistema de vigilancia y alerta para diferentes escalas temporales y espaciales mediante la evaluación del peligro de incendio de vegetación con el fin de fortalecer la actividad preventiva de incendios en bosques, cultivos agrícolas y pastizales.

Materiales y Métodos.

El Sistema de alerta se sustenta en la integración de diferentes índices que contienen elementos que propician el origen y la propagación de los incendios

forestales (Solano, 2001), contribuyendo en su elaboración los diferentes componentes meteorológicos según la escala temporal del aviso.

Los avisos tempranos de alerta, emitidos por el sistema de vigilancia especializada, garantizan un suministro eficaz de información oportuna y autorizada para la toma de decisiones, tanto al nivel nacional del país como a los niveles provinciales, regionales o locales, con conocimiento de causa. No obstante, debido a las características físico geográficas locales, la influencia de las condiciones meteorológicas pueden variar significativamente de un Territorio o Circuito de Protección a otro y esto puede modificar significativamente las condiciones de peligro potencial de explosiones de incendios en la escala local.

La información meteorológica y agrometeorológica empleada en la vigilancia de condiciones de peligro potencial para la explosión de incendios en la vegetación proviene de la red meteorológica del Instituto de Meteorología (estaciones de superficie, de radar, aerológicas y de recepción de imágenes de satélites), y de las redes pluviométricas pertenecientes al Instituto de Meteorología y al Instituto de Recursos Hidráulicos.

Las imágenes de satélites de alta resolución proveen información sobre las condiciones de la vegetación y sobre el origen, evolución y área afectada por los incendios en la vegetación. La experiencia

sobre la utilización del índice de humedecimiento modificado en el servicio agrometeorológico operativo, para determinar las condiciones de la vegetación, indica que la información que ofrece este índice, cuando se analiza su distribución espacial en todo el país, con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es comparable con la que brindan las imágenes de satélites del índice de vegetación normalizado (NDVI), para el mismo período temporal analizado. Sin embargo, se ha observado que el índice de humedecimiento modificado responde con más rapidez a los cambios producidos en la vegetación por la ocurrencia de precipitaciones, después de haber transcurrido con anterioridad un período seco prolongado. Esta observación puede ser explicada debido a que el crecimiento vegetativo comienza muy lentamente en las yemas apicales y axilares de las plantas. Las observaciones visuales y el índice de humedecimiento modificado permiten detectar los primeros indicios de esta manifestación de inicio del crecimiento, pero su respuesta en la imagen de satélite es mostrada cuando ya el nuevo crecimiento es capaz de modificar la energía emitida y reflejada por la vegetación, lo cual ocurre unos días después.

Para evaluar las condiciones de peligro potencial de incendios forestales a largo plazo se utilizó el índice determinado por Solano (2001), modificado a una escala de cinco valores y descrito en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del tiempo atmosférico y del clima que son utilizadas para evaluar las condiciones de peligro que expresa el índice agrometeorológico de peligro potencial de incendios en la vegetación.

Índice	Condición de peligro	Características a evaluar
0	No hay	Presencia de condiciones húmedas en el índice de humedecimiento modificado durante las tres últimas décadas.
1	Poco	No existe presencia de condiciones húmedas durante las tres últimas décadas, ni períodos de tiempo seco.
2	Moderado	Proceso de sequía agrícola en evolución pero con alguna década húmeda o ligeramente seca durante las tres últimas décadas.
3	Mucho	Proceso de sequía agrícola en evolución. El índice de humedecimiento durante las tres o cuatro últimas décadas ha sido evaluado de muy seco o severamente seco.
4	Extremo	Proceso de sequía agrícola establecido. El índice de humedecimiento durante las cinco últimas décadas ha sido evaluado de muy seco o severamente seco.

El índice fue evaluado con la información de incendios forestales ocurridos en la región occidental del país durante los años 1999 y 2000 (Solano et al. 2003) Para ello se extrajo, de la base de datos de incendios pertenecientes al Cuerpo de Guardabosques de Cuba, la información del día de ocurrencia, el nombre del municipio donde ocurrió el

siniestro y el área afectada por cada incendio, en las provincias Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Isla de la Juventud y Matanzas. Esta base integró 435 días con reportes de incendios forestales, aproximadamente 62% del total de la información nacional de estos dos años. Los incendios fueron organizados por períodos de diez días (décadas) para

cada uno de los municipios estudiados. Se organizaron los datos climáticos de estaciones de observación terrestres requeridos para realizar los cálculos de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman - Monteith, según Menéndez *et al.* (1999), y su análisis y distribución espacial en el país, según Solano *et al.* (2003). Se procedió a efectuar el balance hídrico del suelo según Solano *et al.* (2003); el cálculo del índice de humedecimiento modificado y su distribución espacial, según Solano *et al.* (2001) y Solano *et al.* (2003d) la evaluación de la sequía agrícola, según Solano *et al.* (2000a) y con esta información, según Solano (2003a), se evaluó el índice de peligro de incendios en la vegetación para cada uno de los municipios y décadas del período utilizado.

Para determinar el índice de peligro potencial de incendios en la vegetación se requiere hallar con precisión la demanda y el suministro de agua de cada componente del complejo suelo - planta - atmósfera. Una síntesis del procedimiento para el cálculo de este índice mediante la utilización de los SIG y los algoritmos de cálculo se expone en el diagrama que se muestra en la Figura 1.

Para predecir las condiciones de peligro de ocurrencia de incendios en la vegetación se utilizó el método tradicional de pronóstico agrometeorológico basado en la inercia de las condiciones agrometeorológicas de humedad, formadas en la vegetación al concluir una década determinada, y la dependencia de la actual inercia de la vegetación con respecto a las condiciones meteorológicas presentes y pasadas. En este caso, se empleó también el índice de peligro determinado por Solano (2001) obtenido al finalizar una década, para determinar las condiciones de peligro potencial de estallidos de incendios en la vegetación en la siguiente década.

La información agrometeorológica y de incendios fue procesada de forma similar a la utilizada anteriormente para la evaluación de las condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios forestales, con la diferencia en este caso, de que fue seleccionada la base de datos de todos los incendios reportados, por municipios, en el país, para el período temporal 'primera década de enero 2001 a tercera década de julio de 2002' y se utilizó la información agrometeorológica correspondiente a la década anterior (período tercera década de diciembre de 2000 - segunda década de julio de 2002).

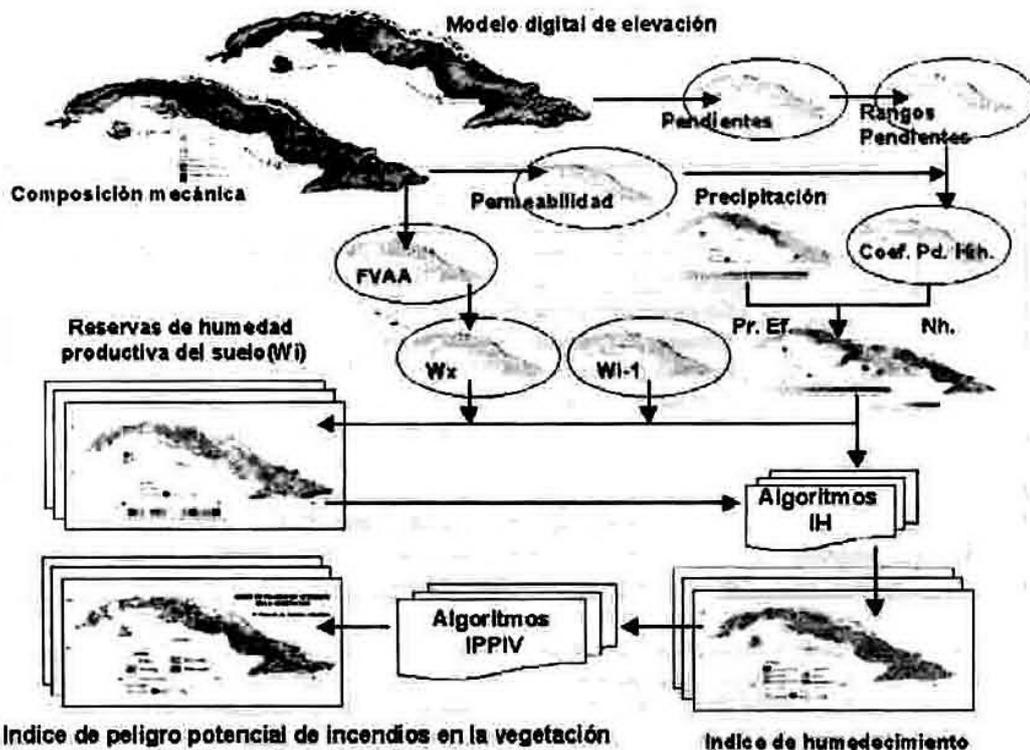


Fig. 1. Diagrama que muestra las operaciones realizadas para calcular el índice de peligro potencial de vegetación mediante la utilización de los SIG.

Resultados

Se diseñó un sistema de vigilancia alerta que comprende la confección de avisos para tres escalas temporales diferentes y el análisis de distintos índices agrometeorológicos y elementos meteorológicos, los cuales se describen a continuación:

- *Avisos tempranos de alerta.*

Son elaborados a partir de la información del riesgo climático y de la vigilancia: de la precipitación; de los elementos meteorológicos que intervienen en el cálculo del poder evaporante de la atmósfera, como son la temperatura y la humedad del aire, la velocidad del viento y la radiación solar; y la vigilancia de las reservas de humedad productiva del suelo, de los resultados del balance hídrico del suelo, de las condiciones de la vegetación, de la sequía agrícola y de las condiciones de peligro potencial de incendios en la vegetación. Estos avisos son diseñados para cubrir una escala temporal de diez días o mayor.

- *Avisos avanzados de alerta.*

Además de utilizar la información anterior, se toma en cuenta para su confección la existencia de sistemas meteorológicos, los pronósticos a corto y mediano plazo de los elementos meteorológicos: precipitación, temperatura y humedad del aire, dirección y velocidad del viento y el comportamiento estimado del estado del tiempo para los siguientes cinco días. Los avisos avanzados de alerta cubren una escala temporal de uno a diez días.

- *Avisos inmediatos de alerta.*

Además de la información anterior, se tiene en cuenta para su confección: la información de precipitación, las temperaturas de los bulbos seco y húmedo del aire a las 13:00 horas del meridiano 75° W, la velocidad y dirección del viento, el resultado del cálculo del índice integral de peligrosidad (modificado) de Nesterov, la información proporcionada por el radar meteorológico referente a la existencia de nubosidad, precipitación y movimiento de sistemas meteorológicos y de existir, la información de estabilidad extraída de los sondeos atmosféricos. Estos avisos son confeccionados para cubrir una escala temporal de hasta seis horas.

Los *avisos tempranos de alerta*, se elaboran en el Departamento de Meteorología Agrícola del Instituto de Meteorología y los *avisos avanzados e inmediatos de alerta* se confeccionan en los Grupos Agrometeorológicos de los Centros Meteorológicos Provinciales.

El sistema de vigilancia y alerta se puso en práctica en dos variantes; para todo el país, los avisos tempranos de alerta; y en la Región Pinar del Río, donde se llevó a cabo el sistema completo.

Según Solano y Figueredo (2002), la información provista por los avisos de alerta, en las diferentes escalas temporales, es elaborada a partir de los datos observados en las distintas estaciones que integran el sistema. Las observaciones se procesan y se envían rápidamente a través de los medios de comunicación disponibles (transmisores de radio de muy alta frecuencia, teléfonos, correos electrónicos, etc.) hacia los Centros Meteorológicos Provinciales. Estos centros procesan la información y emiten los avisos avanzados e inmediatos de alerta a las Jefaturas Nacional y Regionales del Cuerpo de Guardabosques de Cuba. Además, al finalizar cada década, envían al Departamento de Meteorología Agrícola la información que hayan compilado correspondiente a este período.

En el Departamento de Meteorología Agrícola se recibe la información meteorológica y agrometeorológica de cada década, proveniente de los Centros Meteorológicos Provinciales y de las estaciones de observación especializadas ubicadas en la Sede Nacional, y se procesa para obtener diversos índices agrometeorológicos que caracterizan a la vegetación en todo el territorio nacional, en una escala exploratoria de 1:1 000 000 y con una resolución de 1 km². Esta información se transmite por correo electrónico y teléfono, con la mayor rapidez, a los Centros Meteorológicos Provinciales y a la Jefatura Nacional del Cuerpo de Guardabosques.

La Jefatura Nacional del Cuerpo de Guardabosques de Cuba analiza la información recibida y la contrasta con las condiciones formadas en los bosques y con la de sus fuerzas y medios. Después de analizada la situación, se toman las decisiones apropiadas, las cuales serán transmitidas de forma inmediata, a las Jefaturas Regionales del Cuerpo de Guardabosques, por sus sistemas de comunicación especializada.

De igual forma, las Jefaturas Regionales analizan la información recibida, la contrasta con las condiciones formadas en el bosque y con las de sus fuerzas y medios, toma sus decisiones y orienta inmediatamente a los Circuitos y Territorios del Cuerpo de Guardabosques y también, a la Representación Provincial del Cuerpo de Guardabosques, la cual analizará la situación y apoyará las actividades de prevención y combate de incendios forestales.

Los Circuitos y Territorios de vigilancia y protección del bosque, a partir del conocimiento de las condiciones formadas en los bosques donde mantiene su vigilancia y de las indicaciones recibidas por parte

de las Jefaturas Regionales y Representaciones Provinciales del Cuerpo de Guardabosques, orienta de inmediato las misiones de vigilancia, prevención y combate a las Brigadas Profesionales de Prevención y Combate de Incendios Forestales.

Las Brigadas Profesionales de Prevención y Combate de Incendios Forestales, como su nombre lo indica, son las encargadas de efectuar la vigilancia del bosque y en caso de surgir un fuego, tienen la misión de combatirlo hasta su extinción con sus

medios, y si fuera necesario, con el apoyo de otras fuerzas y medios coordinados por sus jefaturas superiores.

El sistema de alerta creado ha permitido al Cuerpo de Guardabosques de Cuba mantener informados a sus actores en el conocimiento del peligro potencial de incendios forestales producido por las condiciones del tiempo atmosférico y del clima, fortalecer la actividad preventiva y ganar en eficiencia operativa en la vigilancia, la prevención y el combate de los incendios forestales.

Tabla 2. Número de décadas evaluadas según el índice agrometeorológico de peligro potencial de incendios en la vegetación estudiado, contra los días con incendios reportados en esas mismas décadas, durante los años 1999 y 2000, en los municipios pertenecientes a las provincias de la región occidental de Cuba.

Año 1999

Provincias	Categorías del índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación									
	4		3		2		1		0	
	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.
Pinar del Río	67	38	49	11	84	39	186	13	184	4
La Habana	95	16	45	3	120	6	182	4	243	1
C. de La Habana	5	2	2	3	8	1	9	1	12	0
Matanzas	127	3	25	6	44	3	108	1	200	2
Isla de la Juventud	9	54	4	9	3	8	11	0	9	2
Región occidental	303	133	125	32	259	57	496	19	582	9

Año 2000

Provincias	Categorías del índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación									
	4		3		2		1		0	
	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.
Pinar del Río	53	13	55	14	267	33	90	13	39	3
La Habana	100	9	75	4	295	5	169	3	45	0
C. de La Habana	5	0	4	1	14	0	12	0	1	0
Matanzas	47	3	65	0	225	27	133	1	34	0
Isla de la Juventud	5	20	4	11	20	25	3	0	1	0
Región occidental	210	45	203	30	821	90	407	17	120	3

Periodo 1999 - 2000

Provincias	Categorías del índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación									
	4		3		2		1		0	
	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.
Pinar del Río	120	51	104	25	351	72	276	26	157	7
La Habana	195	25	120	7	415	11	351	7	288	1
C. de La Habana	10	2	6	4	22	1	21	1	13	0
Matanzas	174	26	90	6	269	30	241	2	234	2
Isla de la Juventud	14	74	8	20	23	33	14	0	10	2
Región occidental	513	178	328	62	1080	147	903	36	702	12

Dec. — Número de décadas evaluadas.

Inc. — Días con incendios reportados.

Índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación:

0 — No hay.

1 — Poco.

3 — Mucho.

2 — Moderado.

4 — Extremo.

Nota: Por sus dimensiones, la provincia Ciudad de La Habana ha sido tratada como un municipio.

Los resultados de la evaluación del peligro potencial de incendios en la vegetación para los municipios estudiados de la región occidental del país, durante los años 1999 y 2000, se muestran en la Tabla 2, por provincias.

Es lógico señalar que pueden estar presentes condiciones de cualquier categoría de peligro potencial de ocurrencia de incendios forestales en un período determinado y no haber ocurrido ningún incendio porque no existieron fuegos que pudieran originarlos. Esto explica las diferencias entre el número de décadas evaluadas y los días con incendios reportados en esas décadas.

De 702 casos evaluados como «no hay condiciones de peligro» para la ocurrencia de incendios forestales, sólo fueron reportados 12 casos, por lo que el error, al evaluar, fue inferior a 2% de los casos estudiados. Estos 12 casos ocurrieron en los municipios Minas de Matahambre (3), Viñales (1), La Palma (3), Ciénaga de Zapata (2), Alquizar (1) e Isla de la Juventud (2). Los casos anteriores pueden ser explicados debido a que las condiciones del índice agrometeorológico de peligro potencial fue determinado, en aquella época, calculando el valor medio de las condiciones e peligro potencial presentes

en todo el municipio y no su distribución espacial, por tanto, pudieron haber condiciones de peligro en las zonas donde se reportaron estos incendios.

Del total de 435 días con reportes de incendios en la región occidental del país, en el período estudiado, 423 ocurrieron cuando existían condiciones de peligro en los municipios y en 12 no, por lo que el error de evaluación en este caso resultó inferior a 3%.

A pesar de que los resultados obtenidos al evaluar la eficiencia de este índice agrometeorológico para el largo plazo han sido muy alentadores, la distribución de los incendios por categoría, específicamente los reportados en las categorías 2 y 3, deja entrever que el índice podría ser mejorado en su calibración.

La evaluación del índice agrometeorológico de peligro potencial de incendios en la vegetación, para las mismas décadas en que ocurrieron los incendios, explicó un 97% de los siniestros generados durante el período estudiado, lo cual mostró su alta eficiencia en la evaluación de la existencia de condiciones de riesgo para la emisión de avisos tempranos de alerta, destinados a la prevención de los incendios forestales y constituye un valioso índice para determinar condiciones de peligro de estallidos de incendios en la vegetación en las condiciones tropicales de Cuba.

Tabla 3. Número de décadas evaluadas según el índice agrometeorológico de peligro estudiado, contra los días con incendios reportados en la década posterior, durante los años 2001 y 2002, en todos los municipios del país.

Período en el que sucedieron los incendios	Categorías del índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación en la década anterior a la que sucedió el incendio.									
	4		3		2		1		0	
	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.	Dec.	Inc.
Ene - Dic. 2001	652	126	468	43	1 601	84	1 880	27	979	5
Ene. - Jul. 2002	830	160	465	53	769	60	880	13	311	16
Ene 2001 – Jul 2002	1 482	286	933	96	2 370	144	2 760	40	1 290	21

Dec. — Número de décadas evaluadas.

Inc. — Días con incendios reportados.

Índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación:

0 — No hay. 1 — Poco. 3 — Mucho.
2 — Moderado. 4 — Extremo.

Nota: Por sus dimensiones, la provincia Ciudad de La Habana ha sido tratada como un municipio.

La Tabla 3 muestra, por categorías de peligro potencial, para el año 2001 y para el período enero – julio de 2002, el total de incendios ocurridos en todos los municipios del país y el número de veces en que cada categoría fue evaluada durante la década anterior a la ocurrencia del incendio. Los resultados de la evaluación de las condiciones de peligro potencial de incendios en la vegetación para todos los municipios estudiados en el país muestra como existe la tendencia al aumento del número de incendios forestales con el incremento del valor del índice. Al igual que se explicó en el análisis de la tabla anterior, pueden estar presentes condiciones de cualquier categoría de peligro de ocurrencia de incendios forestales en un período determinado y no haber ocurrido ningún incendio por la no existencia de fuegos que los originen. Esto explica las diferencias entre el número de décadas evaluadas y los días con incendios reportados en esas décadas.

Al evaluar la distribución de los incendios y las categorías del Índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación en Cuba, de enero a julio de 2002 (Tabla 3), de 1 290 casos evaluados en la condición «no hay peligro» para la ocurrencia de incendios en la vegetación en la próxima década, fueron reportados 21 casos, por lo que el error del pronóstico para este caso fue de 1,6%. No obstante, un 86% de los casos reportados ocurrió en la provincia Pinar del Río, donde la frecuencia de incendios originados por descargas eléctricas es la mayor del país. El área afectada media de los incendios surgidos en esta categoría (2 ha) mostrada en la Tabla 4 sugiere que los mismos tuvieron condiciones poco favorables para su propagación. Los 21 incendios ocurrieron en los municipios Guane (6 incendios), Mantua (8), Minas (2), Vinales (1), La Palma (1), Martí (1), Moa (1) y Buey Arriba (1).

Tabla 4. Distribución de los incendios y afectaciones medias por categoría del Índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación en Cuba, de enero a julio de 2002.

Condición de peligro	INCENDIOS		Valor medio de las hectáreas de bosque dañadas por los incendios forestales.
	Número	% del total	
0 No hay	21	3.6	2.0
1 Poco	40	6.8	14.1
2 Moderado	144	24.5	19.2
3 Mucho	96	16.4	65.5
4 Extremo	286	48.7	67.8
Total	587	100	

De un total de 587 incendios forestales, 566 ocurrieron en las categorías de peligro 1 a 4, lo que equivale a 96% de todos los casos.

La Figura 2 muestra la salida de un aviso temprano de alerta de condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación para la primera década de mayo de 2002, al concluir la década anterior.



Fig. 2. Pronóstico de condiciones de peligro potencial para la ocurrencia de incendios en la vegetación durante la primera década de mayo de 2002.

En la Figura 3 se pueden observar las condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación que realmente existieron en la década pronosticada. Al comparar las condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación pronosticadas y evaluadas para cada municipio en la segunda década de mayo de 2002, se aprecia un cumplimiento del pronóstico en el 97% de los casos. El error consistió en que las condiciones de peligro reales fueron un poco más severas a las previstas, o sea una categoría superior a la que se había pronosticado del índice de peligro en cinco municipios del país.

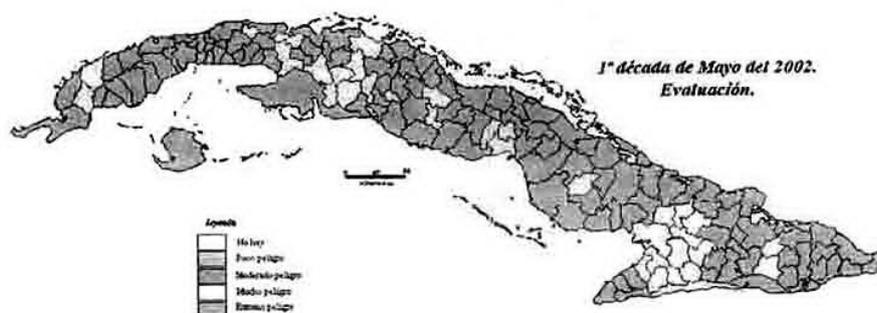


Fig. 3. Evaluación de condiciones de peligro potencial para la ocurrencia de incendios en la vegetación durante la primera década de mayo de 2002.

La Figura 4 muestra los municipios en los cuales fueron reportados incendios forestales durante la primera década de mayo de 2002. En total se registraron 41 incendios en ese período, los cuales ocurrieron en 23 municipios del país. El número que aparece en el interior del municipio indica la cantidad de incendios ocurridos y el color de fondo indica la superficie boscosa dañada por la suma de todos ellos, en hectáreas. Un incendio ocurrió en la categoría de moderado peligro, con una afectación menor a las 10 ha, cuatro ocurrieron en la categoría de mucho peligro, dos de ellos con una superficie boscosa dañada menor a las 10 ha, uno entre 10 y 50 ha y otro con más de 500 ha. Los restantes ocurrieron en la categoría de peligro extremo. De éstos, en cinco municipios se reportaron afectaciones menores a 10 ha, en tres entre 10 y 50 ha, en cinco entre 50 y 500 ha, en tres mayores a 500 ha y en dos no se determinó el área afectada.

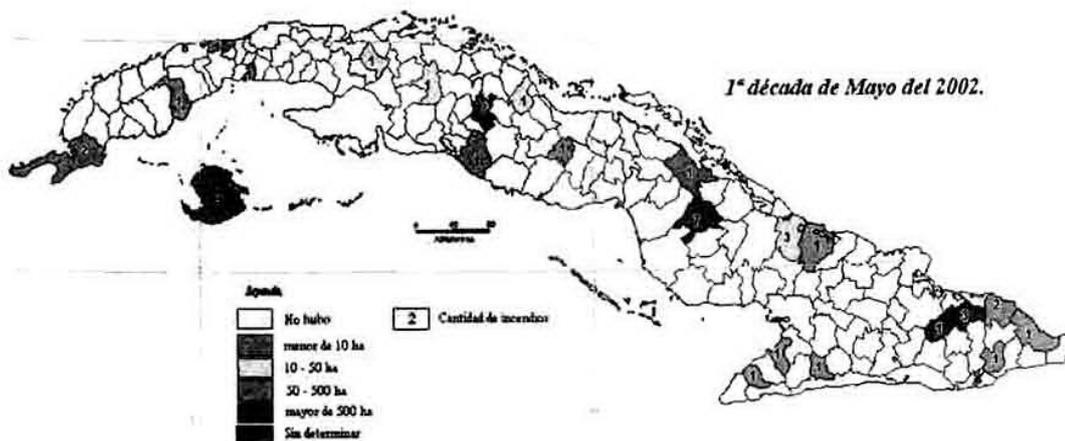


Fig. 4. Incendios ocurridos y superficie boscosa dañada por éstos durante la primera década de mayo de 2002, por municipios.

Los resultados obtenidos en la vigilancia agrometeorológica de condiciones de peligro potencial de incendios en la vegetación han sido muy alentadores. No obstante, resultados mejores en el sistema de avisos tempranos de alerta de condiciones de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación podrían ser obtenidos modificando el valor medio del índice de peligro, por municipios, mostrado en este trabajo, por la distribución espacial de este índice en municipios, provincias y país. Los resultados obtenidos en el pronóstico de condiciones de peligro de ocurrencia de incendios en la vegetación, utilizando el método de la inercia de las condiciones agrometeorológicas formadas en ella, sugieren que podrían lograrse predicciones aceptables para periodos entre 10 y 20 días o más. Otro aspecto a considerar para mejorar este tipo de predicción, es combinar los pronósticos basados en la inercia de las condiciones formadas en la vegetación con otros modelos que incluyan la predicción de la precipitación a largo plazo y por último, combinar los índices obtenidos a partir de información observada en estaciones terrestres con los que suministra la estación receptora de imágenes de satélites de alta resolución permitiría mejorar la información sobre las condiciones agrometeorológicas formadas, muy especialmente en aquellas zonas donde la información meteorológica de superficie es insuficiente.

El sistema de vigilancia de condiciones de peligro de ocurrencia de incendios en la vegetación ha sido utilizado por las fuerzas del Cuerpo de Guardabosques de Cuba: para fortalecer el trabajo preventivo; para reducir la ocurrencia de incendios forestales, por ejemplo, un 61% en la Región Pinar del Río (52 menos), comparado con igual período en los 3 últimos años; para concentrar las fuerzas y los medios en los lugares de mayor peligro de incendios; para optimizar el uso de la aviación utilizada en la vigilancia de incendios forestales y de las fuerzas especializadas en el combate de estos siniestros; y para informar a la población, entre otros aspectos.

Los resultados mostrados en este trabajo tienen una gran importancia, además, para la planificación de las actividades de prevención contra incendios en los sectores ganadero y de cultivos agrícolas en condiciones sostenibles y de secano.

Conclusiones.

Se obtuvo un índice de peligro potencial de ocurrencia de incendios en la vegetación. La aplicación de este índice en la evaluación del peligro de incendios en la vegetación en áreas forestales para las mismas décadas en que ocurrieron los incendios, explicó un 97% de los siniestros generados durante el período estudiado, lo que muestra su alta eficiencia para las condiciones de Cuba.

Los pronósticos del índice de peligro de incendios en área forestales, para los próximos 10 días a la fecha de su emisión explicaron un 96% de los siniestros generados durante el período estudiado, lo cual indica su eficiencia para la elaboración de avisos tempranos de alerta destinados a la prevención de los incendios forestales y constituye un valioso índice para determinar condiciones de peligro de estallidos de incendios en la vegetación en las condiciones tropicales de Cuba.

Se logró diseñar un sistema de vigilancia de peligro de incendios en la vegetación, que ha sido probado en todas las regiones del país para los incendios forestales. Este sistema permitió emitir oportunamente, avisos de alerta para tres escalas temporales diferentes, lo cual permitió al Cuerpo de Guardabosques fortalecer la actividad preventiva y ganar en eficiencia operativa durante el período de alta peligrosidad de ocurrencia de incendios forestales en Cuba.

Referencias.

Ávila, J., García I., González E., Rodríguez J. y Durán A. 1985: «Ecología y Silvicultura». Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 289 p.

Centella A., L. Naranjo, L. Paz, P. Cárdenas, B. Lapinel, Maritza Ballester, R. Pérez, A. Alfonso, Cecilia González, Miriam Limia y Marina Sosa. 1997: «Variaciones y cambios del Clima en Cuba». Informe Técnico Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 58 p.

Gutiérrez T., A. Centella, Miriam Limia, Marvelys López y un grupo multidisciplinario de 39 autores. 1999: «Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba». Informe de Proyecto No. 01301019. Programa Nacional de Ciencia y Técnica Los Cambios Globales y la Evolución del Medio Ambiente Cubano.

Lapinel B., R.E. Rivero, Virgen Cutié, R.R. Rivero, N. Varela y M. Sardinas. 1993: «Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía: Análisis del período 1931 – 1990. Informe Científico Técnico, Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Cuba, 45 p.

Menéndez J. A., O. Solano y R. Vázquez. 1999: «Estimación de la Evapotranspiración de Referencia por el Método de Penman – Monteith». Disco Compacto de las Memorias de la Convención Trópico' 99, en el Congreso de Meteorología Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, Ref. MT 001, 5 p.

Solano O., R. Vázquez, C. Menéndez y J.A. Menéndez. 2000a: «Sistema agrometeorológico operativo para la detección y seguimiento de la sequía agrícola en Cuba», en Actas de la Reunión de Expertos

de las Asociaciones Regionales III y IV Sobre Fenómenos Meteorológicos Adversos, Caracas, Venezuela, 12 – 14 de julio de 1999, pp 45 – 53.

Solano O., R. Vázquez y E. Pérez. 2000b: «Evaluación de las Sequías Agrícolas de 1998 y 1999 en Cuba», en Actas de la Reunión de Expertos de las Asociaciones Regionales III y IV Sobre Fenómenos Meteorológicos Adversos, Caracas, Venezuela, 12 – 14 de julio de 1999, pp 21 – 29.

Solano O. 2001: «Diseño de una estrategia para el combate de incendios forestales». Informe de consultoría sobre prevención de incendios forestales del Proyecto FAO TCP/CUB/0066(A) La Habana, Cuba, 77 p. +24a.

Solano O., R. Vázquez, E. Pérez y Maylín Figueredo. 2001: «Un índice agrometeorológico de peligro de incendios en la vegetación para la emisión de avisos tempranos de alerta a largo plazo» XI Congreso Nacional de Meteorología, 2001. Boca del Río, Veracruz. México, Ref. pon58.htm, 8p.

Solano O., R. Vázquez y J. A. Menéndez. 2001: «El índice de humedecimiento modificado y su aplicación en el servicio de vigilancia y emisión de avisos tempranos de alerta para los agricultores cubanos. XI Congreso Nacional de Meteorología, 2001. Boca del Río, Veracruz. México, Ref. pon59.htm, 9p.

Solano O. y Maylín Figueredo. 2001: «Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Sobre peligro de Ocurrencia de Incendios Forestales». Trabajo presentado en el XIV Forum de Base de Ciencia y Técnica del Cuerpo de Guardabosques. Ministerio del Interior. Ciudad La Habana.) 9 p.

Solano O., R. Vázquez, E. Pérez y M. Figueredo. 2003a: «La Vigilancia de las Condiciones Agrometeorológicas de Peligro de Incendios en la Vegetación». Disco compacto de las Memorias del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, II Congreso Cubano de Meteorología y Simposio Internacional de Ciclones Tropicales «Padre Benito Viñez S. J. in Memoriam» «La Meteorología y el Desarrollo Sostenible».

Solano O., C. Menéndez, R. Vázquez, y J. A. Menéndez. 2003b: Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. Revista Cubana de Meteorología. Instituto d Meteorología. Vol. 10 / No.1 / pp. 33 – 38.

Solano O., R. Vázquez, J. A. Menéndez y M. E. Martín. 2003c: «Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. Formulación y representación espacial». Informe Científico Técnico de Resultado de Investigación. Proyecto «Pronóstico de peligro de incendios forestales, su seguimiento y evolución, utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota». Instituto de Meteorología. La Habana. 30 p.

Solano O., R. Vázquez, J. A. Menéndez y M. E. Martín. 2003d: «Modelo agroclimático para el cálculo del índice de humedecimiento modificado». Informe científico técnico de resultado de investigación. Proyecto «Pronóstico de peligro de incendios forestales, su seguimiento y evolución, utilizando técnicas de observación terrestre y la percepción remota». Instituto de Meteorología. La Habana. 22 p.

Solano O. y R. Vázquez. 2004: «Una contribución al conocimiento y evaluación del clima actual en Cuba y su aplicación a la investigación y el sistema de vigilancia de la sequía agrícola». Informe Científico Técnico. Proyecto UNDP. Strengthening Links Between Development and Climate Change Adaptation in the Insular Caribbean. Instituto de Meteorología. 111 pp.

Abstract

The surveillance system is based in the agrometeorological conditions monitoring that influence in to the soil water content, alive vegetation and in the vegetation dead parts. Starting from those agrometeorological conditions a potential danger able to originate and to spread the vegetation fires can be inferred. An alert system to different temporary scales was designed and was put it on operative practices taking two variants, at national level (early alert warnings) and provincial level (advanced and immediate alert warnings). It is shown how the alert information as a result of the potential danger conditions to vegetation fires surveillance and some results of the practical application of this agrometeorological danger index was used in the emission of early long term alert warnings. With the forest fires reports detected in the western region of the country during 1999 and 2000 the index was evaluated, and with forest fires reports detected in the whole country during 2001 and 2002, the danger conditions to occurrence vegetation fires the index was also evaluated to long term forecast. The vegetation fires potential danger surveillance system has been proven in all regions of the country for the forest fires. This system has allowed, to the Cuba Body Keepers, to enhance the preventive activity and to win in operative efficiency during the forest fires occurrence high danger period in Cuba.

Key words: Forest fires, Danger index, Agrometeorological surveillance.