

ÍNDICES DE PELIGRO Y SIMULACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN AMBIENTE SIG PARA BAJA CALIFORNIA

Jorge I. Sepúlveda Betancourt¹, Walter Raúl Zúñiga Castillo²,
Luis Vizcarra Corral² y Alejandro Gomero Portilla³

RESUMEN

Cada año los incendios forestales afectan cientos de hectáreas de vegetación de bosque, chaparral y pastizales en los ecosistemas mediterráneos de la porción norte de Baja California. Personal, equipo y recursos financieros son destinados para preservar estos valiosos recursos forestales y de recreación. Sin embargo, el fuego también juega un papel muy importante en los procesos de sucesión de estas comunidades vegetales. Información sobre riesgo de incendios y comportamiento del fuego son requeridos para manejar en forma adecuada estas áreas. El objetivo en este trabajo de investigación fue desarrollar un sistema de información geográfica (SIG) integrando índices de peligro y simulación de incendios. Los resultados obtenidos indican el desarrollo de un prototipo con capacidad para generar lo anterior. Mediante este sistema es factible obtener información sobre probabilidad de ignición, tasa de dispersión del fuego e índices de quema, lo que permite diseñar una clasificación de áreas con riesgo de incendio a escala local y estatal. El componente de simulación del sistema incorpora imágenes de satélite LANDSAT TM e información meteorológica para predecir el comportamiento del fuego, con aplicación en áreas específicas (quemadas prescritas). Variables como tiempo de arribo del fuego, tasa de dispersión del incendio e intensidad de la línea de fuego son generadas por el simulador y analizadas por el módulo espacial del sistema, obteniéndose información con mayor detalle sobre el comportamiento del fuego.

Palabras clave: Imágenes, incendios, índices de peligro, quemadas prescritas, SIG, simulación.

Fecha de recepción: 14 de mayo de 1999

Fecha de aceptación: 31 de enero de 2003

¹ Investigador Titular del Campo Experimental Costa de Ensenada, CIRNO, INIFAP.
Correo-e: cecoen@microsol.com.mx

² Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Baja California.

³ Pasante de licenciatura en Ciencias Computacionales, Universidad Autónoma de Baja California.

ABSTRACT

Every year wildfires affect hundreds of hectares of conifer forest, chaparral and grass on Mediterranean ecosystems in the northern part of Baja California, Mexico. Personnel, equipment and financial resources are spent annually to preserve valuable forests and areas used for recreation. However, fire also plays a very significant role in vegetation types and succession processes. Information of fire risk and fire behavior is required for the proper management of those areas. The objective of this research was to develop a GIS environment that incorporates fire danger indexes and forest fire simulation. As a result of this research, a prototype was developed with capacity to generate fire danger index as well as fire simulations in an integrated GIS environment. Information of ignition probability, rate of spread and burn index were obtained for the system, allowing the classification of areas with fire risk at local and state scale. The fire simulation module of the system incorporates LANDSAT TM satellite imagery and temporal meteorology information to predict fire behavior with application in specific areas (prescribed burning). Variables as time of arrival, rate of spread, and fireline intensity generated by the simulator can be analyzed by the spatial module of the system, obtaining information with more detail on fire behavior.

Keywords: Satellite images, forest fire, fire danger index, prescribed burning, GIS, simulation.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los recursos económicos de las instituciones forestales tanto estatales como federales, se destinan al combate de estos incendios, lo que al mismo tiempo, exige una gran movilización de personal civil y militar para contenerlos; sin embargo, estos esfuerzos se ven rebasados por la recurrencia anual de este fenómeno. Por otra parte, la supresión indiscriminada del fuego es una práctica que ha mostrado su inoperancia especialmente en los ecosistemas mediterráneos, pues si bien es cierto que el número de incendios disminuye, la magnitud de estos aumenta posteriormente lo que tiene un efecto más severo tanto en los recursos naturales como en los bienes y servicios de los pobladores de estas áreas obtienen de aquellos. Por otra parte, el fuego juega un papel importante en la dinámica de las comunidades vegetales de estos ecosistemas forestales, toda vez que las especies que los integran dependen de este para su propagación y regeneración (Kelley, 1981).

De esta forma, se requiere una estrategia de manejo del fuego en la que se logre un balance entre los factores ecológicos y sociales. Para instrumentar esta

estrategia, se hace necesaria la clasificación espacial y temporal de áreas de alto riesgo de incendio en la vegetación forestal en escalas variables, lo cual se puede lograr mediante el uso de índices de peligro de incendio. Así mismo, para disminuir la carga de combustibles en áreas específicas clasificadas como de alto riesgo se requiere la aplicación de un programa de quemas prescritas. Sin embargo, para llevar a cabo de manera eficiente y segura estos programas, es indispensable un conocimiento previo del comportamiento del fuego, bajo las características que presente el área a quemar. En este caso la simulación de incendios es una herramienta tecnológica eficaz para lograr este propósito.

Tanto los índices de peligro como la simulación de incendios pueden integrarse en una sola herramienta de trabajo bajo un ambiente SIG en el que se generan, analizan, simulan y despliegan elementos espaciales y temporales. De esta forma, tanto los efectos adversos de los incendios en los ecosistemas forestales, como los costos que estos implican, se minimizan con el uso de tecnologías avanzadas, partiendo de la premisa de que la ocurrencia de un incendio, así como su comportamiento, pueden pronosticarse y por lo tanto manejarse de acuerdo al interés del hombre.

El estado de Baja California presentó durante el periodo de 1996-98, 408 incendios que impactaron a 32,300 ha; de este total, 6,567 ha correspondieron a pastizales, 24,346 ha a chaparrales y 1,371 ha a bosques de coníferas (SEMARNAP, 1998).

En áreas de clima mediterráneo, como la porción occidental de Baja California, se produce un largo periodo seco acompañado con altas temperaturas (abril-septiembre) el cual se refleja en una baja humedad en las plantas. Aunado a esto las especies de la vegetación de chaparral, contienen aceites y resinas y la mayoría de los tallos son menores a un cm de diámetro, lo cual da como resultado, un alto grado de combustibilidad (Klever *et al.*, 1997). Por otra parte, grandes superficies cubiertas de chaparral y matorral costero han sido transformadas a pastizales anuales con especies introducidas, situación que ha incrementado la frecuencia de incendios (Minnich, 1987).

El régimen de incendios en una área en particular, tiene influencia en la abundancia, composición y estructura de la vegetación (Shrugar, 1984; Kilgore, 1981). Los incendios también conforman la distribución de las comunidades vegetales a través de gradientes ambientales que afectan la tasa de productividad y acumulación de material combustible (Minnich, 1989).

La ocurrencia de un incendio esta determinada por la interacción de factores meteorológicos como temperatura, humedad ambiental, velocidad de viento,

(Green, 1981), por la cantidad y características de combustibles vegetales vivos y muertos así como por un agente de ignición, el cual puede ser natural (rayos) o de origen antropogénico tales como quemas, fogatas, colillas, cables eléctricos (Magaña, 1985).

Los resultados de estas variables se correlacionan, lo que permite generar modelos de predicción de los que se derivan índices de peligro en una área determinada (Burgan, 1988). Estos índices proporcionan información sobre la magnitud y comportamiento de un incendio, así como también, los requerimientos de personal o maquinaria para contenerlo. Diferentes países han realizado una serie de investigaciones para la generación de estos índices, siendo la base de los actuales sistema de prevención de incendios que operan en Estados Unidos (WFAS-NFDRS), Canadá (CWFIS), Australia (FIRENET) y la Comunidad Europea (FUEGO); mientras que en México Magaña (1985), Martínez *et al.* (1990), Rodríguez y Sierra (1992) han realizado diversos esfuerzos para la obtención de estos índices.

La incorporación del SIG y la tecnología de sensores remotos como el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) permiten en poco tiempo identificar lo patrones del paisaje los cuales están relacionados a procesos ecológicos que hacen posible concatenar múltiples modelos de predicción (Michenerer *et al.*, 1994).

Los índices de peligro desarrollados en los Estados Unidos se basan en el modelo general desarrollado por Deeming (1977) y modificado por Burgan (1988) cuyos componentes principales son:

- 1) Información meteorológica como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento.
- 2) Humedad de los combustibles muertos, clasificados en tiempos de retardo de 1, 10, 100 y 1000 hrs definidos éstos como el tiempo que tarda una partícula de combustible vegetal en alcanzar 2/3 partes la diferencia entre su contenido de humedad y el del ambiente (Anderson, 1978).
- 3) Los modelos de combustibles son los combustibles existentes en los diferentes tipos de vegetación clasificados con base en diferentes parámetros (Rothermel, 1972). Deeming (1977) reporta 20 modelos de combustible utilizados por el National Federal Danger Rating System (NFDRS); así mismo, Anderson (1982) realiza otra clasificación de trece modelos pero proporciona una tabla de correspondencia con los primeros 20 modelos.

Por otra parte trabajos como los de Albini (1986) y Weise (1993) han sentado

las bases para el desarrollo de simuladores de incendios forestales. En los últimos años, uno de los simuladores de incendios más ampliamente utilizado es BEHAVE (Andrews, 1986) desarrollado para realizar en tiempo real predicciones sobre el comportamiento del fuego en un periodo de tiempo dado. BEHAVE es un simulador que es aplicable solo bajo las especificaciones dadas, a medida que la topografía o las características de los combustibles cambian los resultados del simulador deben ser recalculados para esa nueva condición (Butler *et al.*, 1996; Weise, 1993).

Con la incorporación de la tecnología SIG, la descripción detallada del comportamiento de incendios en los más variados escenarios, se convierte en una herramienta altamente eficiente y efectiva debido a que se representa la simulación en un tiempo y espacio continuo. El uso del SIG en el área de incendios forestales ha sido utilizado por diferentes autores como Klaver *et al.* (1997) y Chuvieco *et al.* (1989).

El propósito de este trabajo fue desarrollar un prototipo de sistema de información geográfica, incorporando índices de peligro y simulación de incendios forestales en un contexto espacial y temporal con capacidad de generar mapas y datos tabulares.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se localiza en la porción noroccidental del Estado de Baja California; en su extremo norte colinda con la línea fronteriza con Estados Unidos y en el sur con el paralelo 30° 00' longitud norte. El clima de esta región es de tipo mediterráneo con lluvia en invierno y veranos secos y calurosos. En otoño se presenta la denominada condición Santa Ana, la cual se caracteriza por vientos fuertes y secos que corren de este a oeste. Las variaciones orográficas del área le confieren una serie de condiciones ambientales que permiten el desarrollo de diversas comunidades vegetales; entre estas destacan por su importancia: el matorral costero de *Adenostoma fasciculatum* Hook. & Arn., chaparral alto de *Adenostoma sparcifolium* Torr., bosque de *Pinus quadrifolia* Part. ex Sudworth, bosque de *Pinus jeffreyi* Grez. & Balf., en los cañones existe bosque de *Quercus* spp. que se mezcla en las partes altas con el bosque de pino.

Para la generación de los índices de peligro de incendio se adoptó el modelo propuesto por Deeming *et al.* (1977), incorporando los elementos aportados por Burgan (1988) y Bradshaw (1995) el cual se muestra en la Figura 1.

A fin de obtener la información meteorológica, se utilizó el programa de

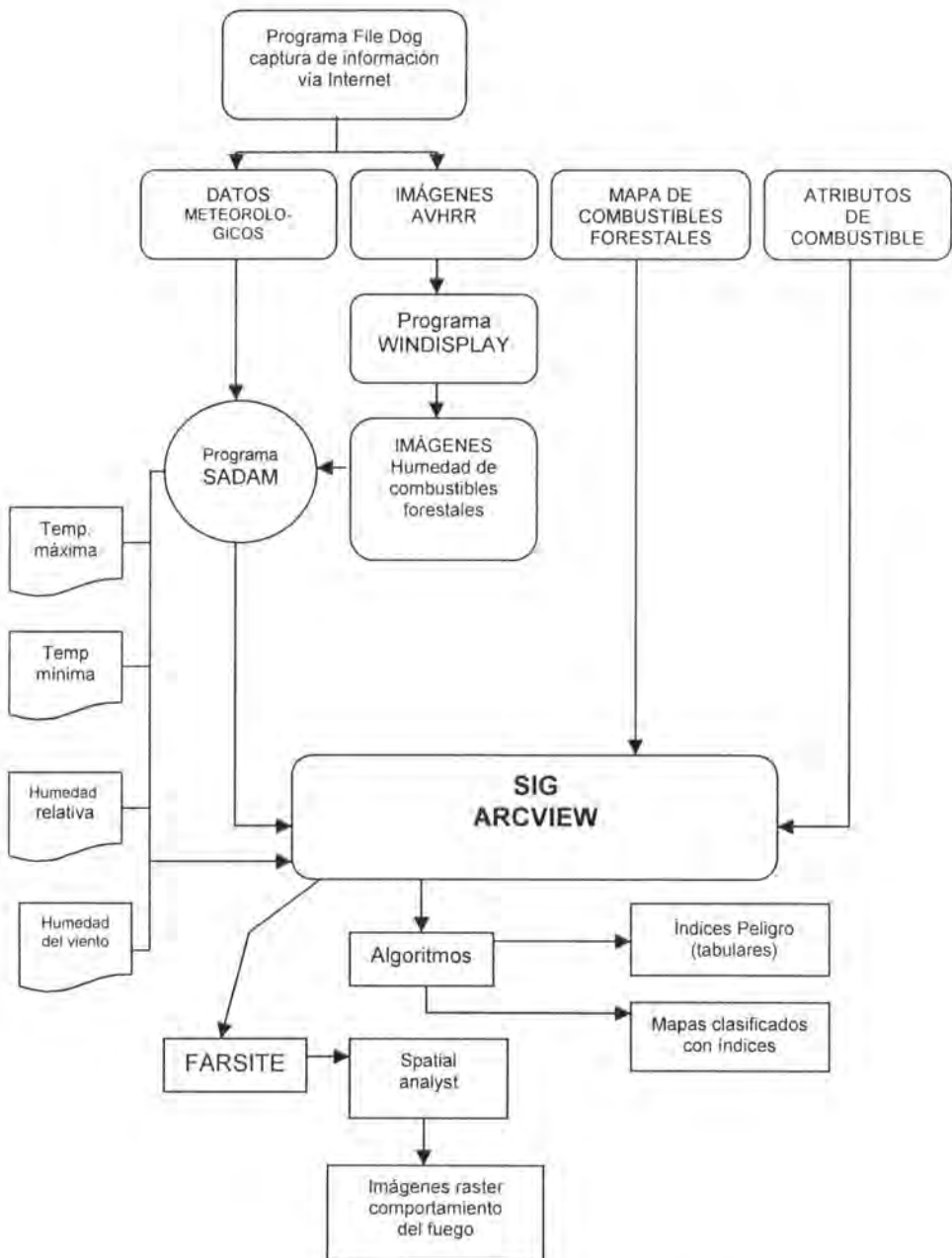


Figura 1. Diagrama del modelo del SIG para la generación de mapas clasificados con índices de peligro y simulación de incendios forestales

cómputo File Dog (1996) con capacidad para la automatización de la captura de las variables de temperatura, humedad relativa, nubosidad, etc. el cual fue obtenido de diferentes fuentes, vía Internet (UCAR, 1999; UNISYS, 1999). Su actualización es de 30 minutos a 12 horas y los pronósticos de 12 a 36 horas. Estos datos fueron procesados con el programa Sistema de Adquisición de Datos Meteorológicos (SADAM) desarrollado por el Centro de Cómputo Universitario de la UABC (Covarrubias *et al.*, 1999). Una vez normalizada la información se incorporó a la base de datos del sistema, para su posterior uso.

Para la clasificación de los combustibles vegetales se utilizó el mapa de vegetación de Minnich y Franco-Vizcaino (1998) y las claves de los 20 modelos descritos por Deemming (1977), mientras que para la simulación se incorporaron los trece modelos de Anderson (1982). Los límites de los polígonos de vegetación fueron actualizados mediante análisis no supervisado usando imagen LANSAT TM con resolución de 30 m. La información normalizada y georeferenciada resultante se integró a la base de datos de atributos del sistema.

La humedad de los combustibles muertos con tiempos de retardo de 1, 10 y 100 hrs, fue calculada mediante las ecuaciones descritas por Fosberg (1971a, 1971b); se utilizaron las variables meteorológicas de temperatura, humedad relativa, y precipitación contenidas en el sistema.

La humedad de los combustibles vivos a escala estatal se calculó por medio de información proporcionada en imágenes con resolución espacial de 1 km. Estas imágenes captadas cada semana por el sensor AVHRR del satélite, fueron capturadas para su procesamiento y análisis con el programa Windisplay 3.0 (Pfirman, 1991).

La generación de los componentes de ignición (CI), del componente de dispersión (CD) e índices de quema (IQ) en un pronóstico de incendio, fueron obtenidos mediante la instrumentación de un módulo matemático basado en el modelo de Rothermel (1972). La información histórica sobre número de incendios, localización y causas que los provocaron, fue recabada de la delegación estatal de SEMARNAP en Baja California, la cual fue analizada, estandarizada e incorporada a la base de datos del sistema. Los algoritmos computacionales para la generación de la información espacial y tabular de los índices de peligro de incendios fueron programados en lenguaje Avenue, a fin de ser desplegados en ambiente SIG, en la aplicación ArcView 3.0a. (ESRI, 1996). Para el despliegue de la información se realizó la sectorización del área de estudio en seis unidades de protección forestal (UPF).

La integración del simulador de incendios FARSITE (Fire Area Simulator) desarrollado por Finney (1998), fue incorporado mediante una adecuación a la aplicación ArcView. La construcción de las capas temáticas requeridas por el simulador (altitud, exposición, pendiente, cobertura vegetal, etc.) fueron generadas en ArcInfo. El despliegue y análisis de la información de la simulación se lograron mediante la incorporación del módulo Spatial Analyst de ArcView (ESRI, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Uno de los objetivos del presente trabajo fue lograr la integración de dos herramientas en una sola plataforma de visualización y análisis. En la Figura 2 se muestra la ventana principal del sistema en donde se puede apreciar en la barra de botones el icono, con el cual se procesa el módulo matemático que calcula los índices de peligro y genera los mapas clasificados. En la misma figura se aprecia el botón con el cual el sistema se conecta con el simulador de incendios FARSITE, con el cual se hace posible la manipulación de la simulación.

Índices de peligro de incendio

Uno de los productos generados por el sistema son mapas clasificados con los índices de peligro de incendio, sectorizados en unidad de protección forestal y con referencia geográfica. Lo anterior permite una manipulación de la información altamente eficiente, tanto en la delimitación de las áreas clasificadas como para la localización de características particulares en el terreno como se describirá mas adelante. Adicionalmente, el sistema proporciona información sobre diferentes atributos de estas áreas, tales como, superficies y perímetros.

Componente de dispersión

Este componente es numéricamente equivalente a la tasa de dispersión del fuego, redondeado al número más cercano del valor computado y expresado en pies/minuto. El CD es especialmente sensible al contenido de humedad de los combustibles finos, por lo que resulta en un valor bajo durante los meses húmedos y alto en los meses secos. En la Figura 3 los valores del componente de dispersión en el área de estudio destacan en el intervalo mostrado en la leyenda, pero también el sistema puede desplegar estos valores en cada uno de los polígonos del modelo de combustible respectivo.

Componente de ignición

El componente de ignición se deriva de la probabilidad de ignición del componente de dispersión CD y del componente de dispersión máximo (C_{dmax}).

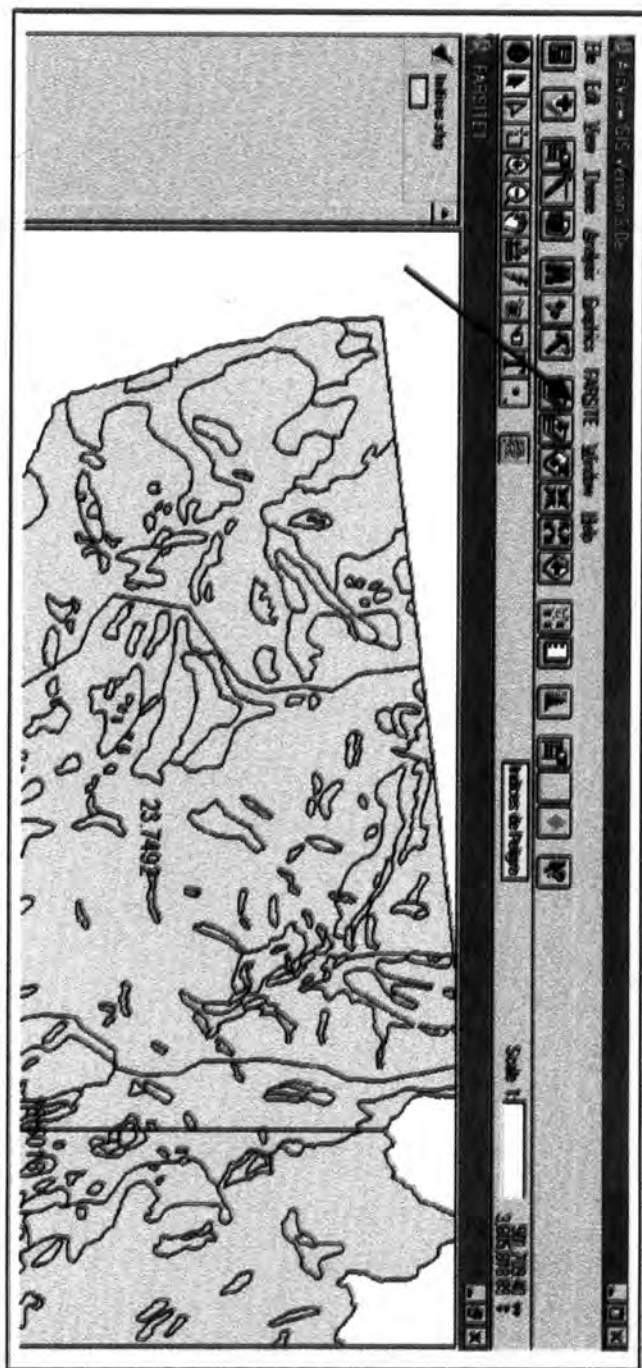


Figura 2. Ventana principal de ArcView integrando los índices de peligro y el simulador de incendios FARSITE.



Figura 3. Mapa de la tasa pronosticada de dispersión del fuego en el área de estudio.

Este último, es una constante que se asigna a cada uno de los modelos de combustible y es calculado bajo condiciones severas de incendio. De esta forma, el CI representa un indicador de la probabilidad (expresada en porcentaje y en un rango del 0 al 100) de que una pavesa genere un incendio de magnitud reportable. En la Figura 4 se muestran los valores de CI para cada uno de los polígonos de los modelos de combustibles en las zonas aledañas a la ciudad de Ensenada, B.C. Este componente de los índices de peligro es de gran utilidad para determinar alertas de riesgo de incendio.

Índice de quema

Este índice es equivalente a la longitud de la flama (m) multiplicada por 10, el cual a su vez está correlacionado a la intensidad en el frente de fuego (kw/m), por lo que, de acuerdo a experiencia obtenidas en investigaciones, se ha determinado que existe una relación entre la intensidad de la línea de fuego y la controlabilidad así como del comportamiento del incendio como lo menciona Demming *et al.*, 1977 al referir el trabajo de Roussopoulos y Johnson. Basado en esta premisa, se ha establecido un intervalo de valores utilizando los índices de Bryam (Deeming *et al.*, 1977) que permite definir la magnitud del incendio esperado, así como las expectativas para contener el fuego (Cuadro 1). Por otra parte, en el mapa generado por el sistema se observan las áreas con diferentes valores de índices de quema (Figura 5). El valor del IQ más alto corresponde al

Cuadro 1. Posibilidades de control del fuego basado en los índices de Bryam

Índice de quema	Intensidad de la llama Btu/S/Pie*	Límites de control
0 -28	0 - 50	La mayoría de las quemas prescritas se realizan en este intervalo
38	100	Límite para el control manual directo.
78	500	El control del fuego por cualquier medio es difícil.
96	700	La intensidad del fuego a 10 m del personal es peligrosa.
110	1000	A esta intensidad podrían esperarse, incendios de copa.

* British Temperature Unit/segundo/pie. 1 BTU/segundo= 251.9 calorías/segundo

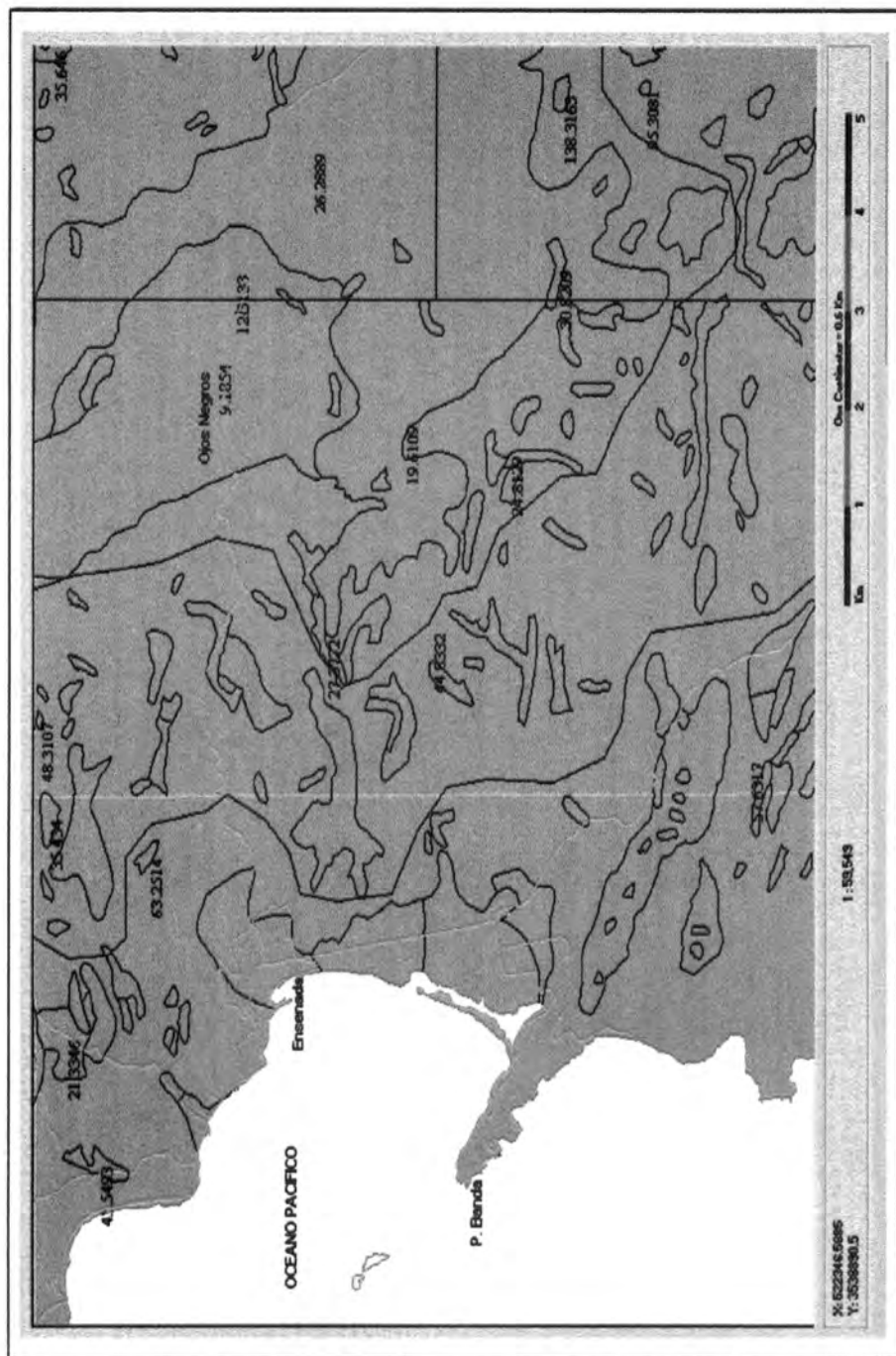


Figura 4. Mapa del área de estudio mostrando los valores del componente de ignición.

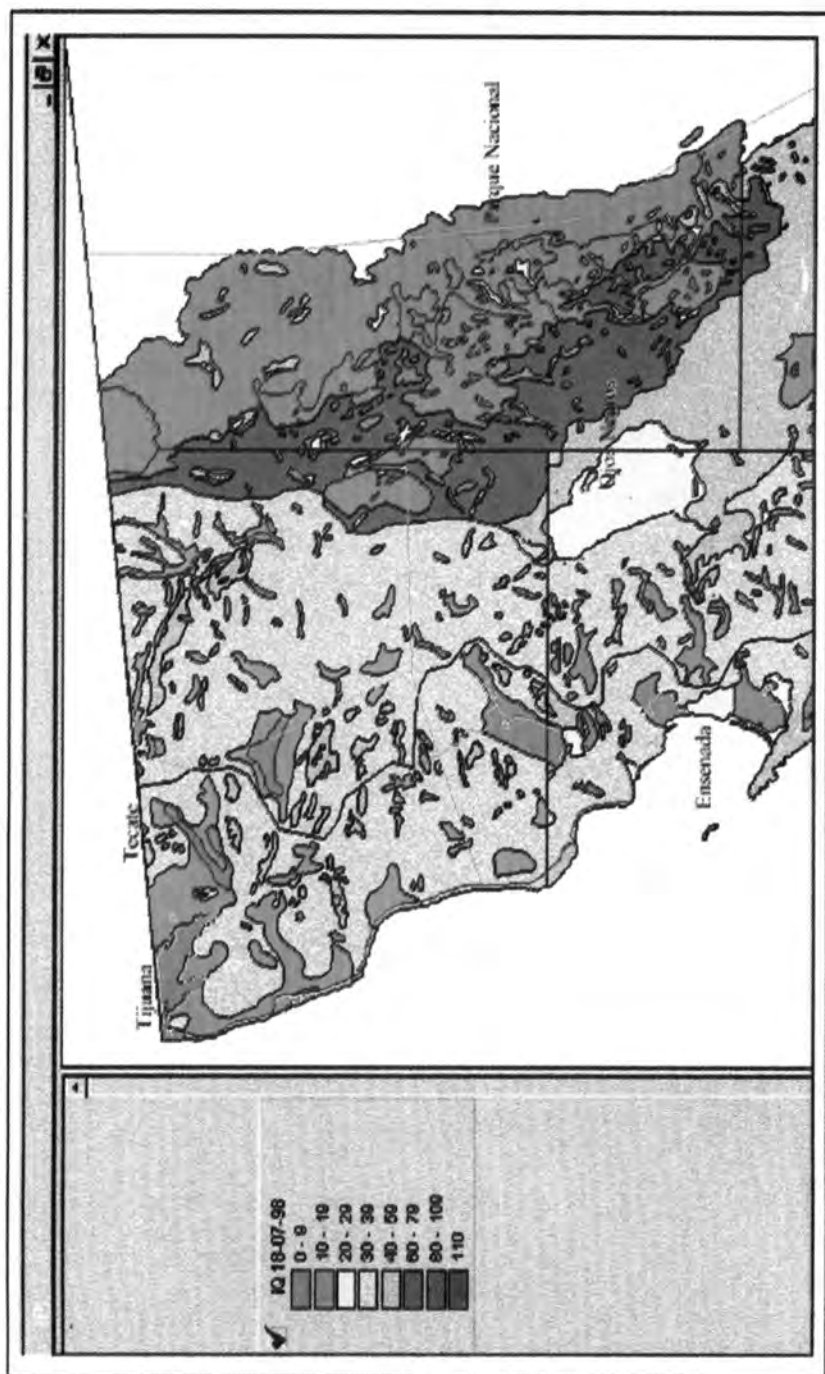


Figura 5. Mapa clasificado con índices de quema en el área de estudio.

modelo B, vegetación compuesta de chaparral de *Adenostoma sparcifolium* de mas de 30 años de edad y con alta carga de combustible. De esta forma el IQ además de ser un elemento útil como pronóstico también se emplea para establecer criterios de clasificación de áreas que presentan un alto potencial para generar incendios de gran magnitud.

Visualización de áreas específicas

Para lograr una mayor facilidad al usuario se añadió una capa temática al sistema, consistente en una imagen de satélite TM bandas 3, 4, 5 con resolución de 30 m. en donde se destacan aspectos orográficos, poblaciones, áreas protegidas (Figura 6).

Información tabular.

Adicional a la información espacial, el SIG proporciona información tabular de los índices, variables meteorológicas y humedad de combustibles muertos la cual se presenta en el Cuadro 2.

Simulación de incendios

El simulador de incendios FARSITE no es un sistema de información geográfica en sí mismo, por lo que requiere del apoyo de herramientas como ArcInfo para instrumentar el escenario de la simulación del incendio. Las capas temáticas necesarias incluyen: altitud, pendiente, exposición, modelos de combustible, cobertura vegetal, así como información en formato ASCII sobre temperatura, velocidad y dirección del viento.

Como otro resultado del proyecto, el simulador FARSITE se adecuó para ser operado en ArcView y generar archivos con formato raster o vectorial. Estos archivos contienen información sobre el tiempo de arribo del incendio, tasa de dispersión, intensidad del calor en el frente y dirección de la dispersión del fuego. Con base en estos archivos, el sistema despliega la información que interactúa con el módulo de *spatial analyst* (requerido), lo que permite la visualización de los polígonos generados por la simulación.

La simulación que sirve de ejemplo en este trabajo se realizó considerando una duración de 24 hrs. Los modelos de combustibles de acuerdo a la clasificación de Anderson (1982) correspondieron a los modelos 6 (chaparral bajo), 1 (pastos anuales) y 9 (bosque de pino). Las figuras 7 al 9, presentan la información de los tiempos de arribo (h), tasa de dispersión del fuego (m/min) e intensidad de la llama (kw/h), respectivamente.

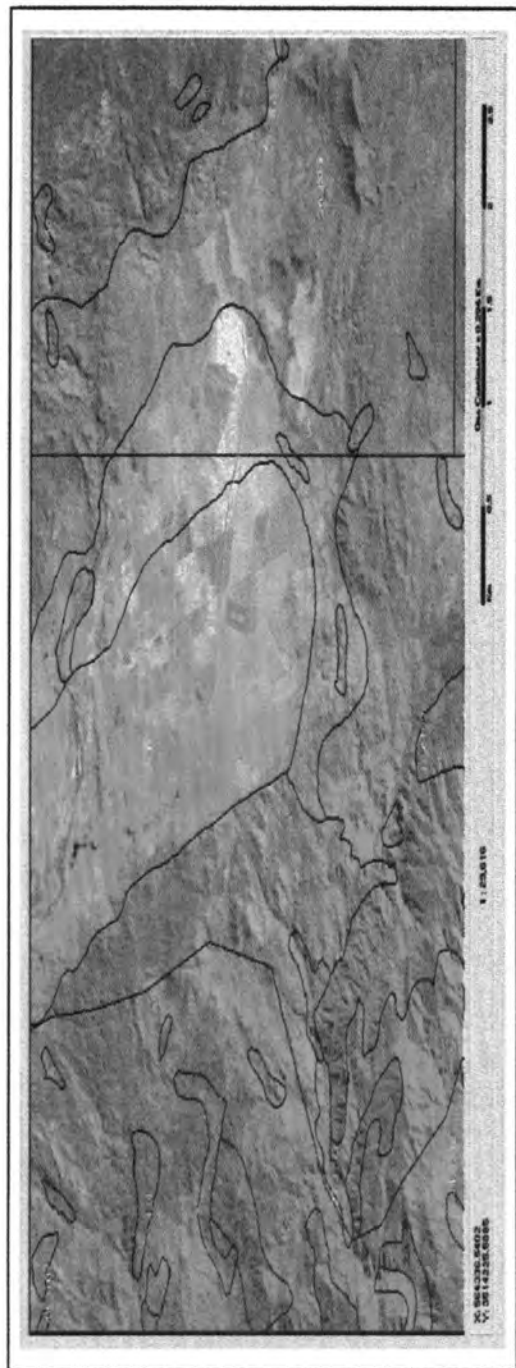


Figura 6. Índices de quema del área de Ensenada- Ojos Negros, Baja California.

Cuadro 2. Información tabular generada por el sistema de índices de peligro de incendios.

Subsector	Estación	Modelo	CD	IC	IQ	1 Hr	10r
1	1	A	46	20	23	8	9
1	1	A	46	20	23	8	9
1	1	A	46	20	23	8	9
1	1	A	46	20	23	8	9
1	1	B	12	25	28	8	9
1	1	B	12	25	28	8	9
1	1	B	12	25	28	8	9
1	1	B	12	25	25	8	9
1	1	F	23	15	25	8	9
1	1	F	23	15	25	8	9
1	1	F	23	15	25	8	9
1	1	F	23	15	25	8	9

El sistema, además permite la instrumentación de una gran variedad de temas en apoyo a las actividades de contingencia, como la simulación del comportamiento de un incendio en tiempo real, el despliegue de información cartográfica, localización de fuentes de agua y ubicación de grupos de apoyo para el combate de incendios.

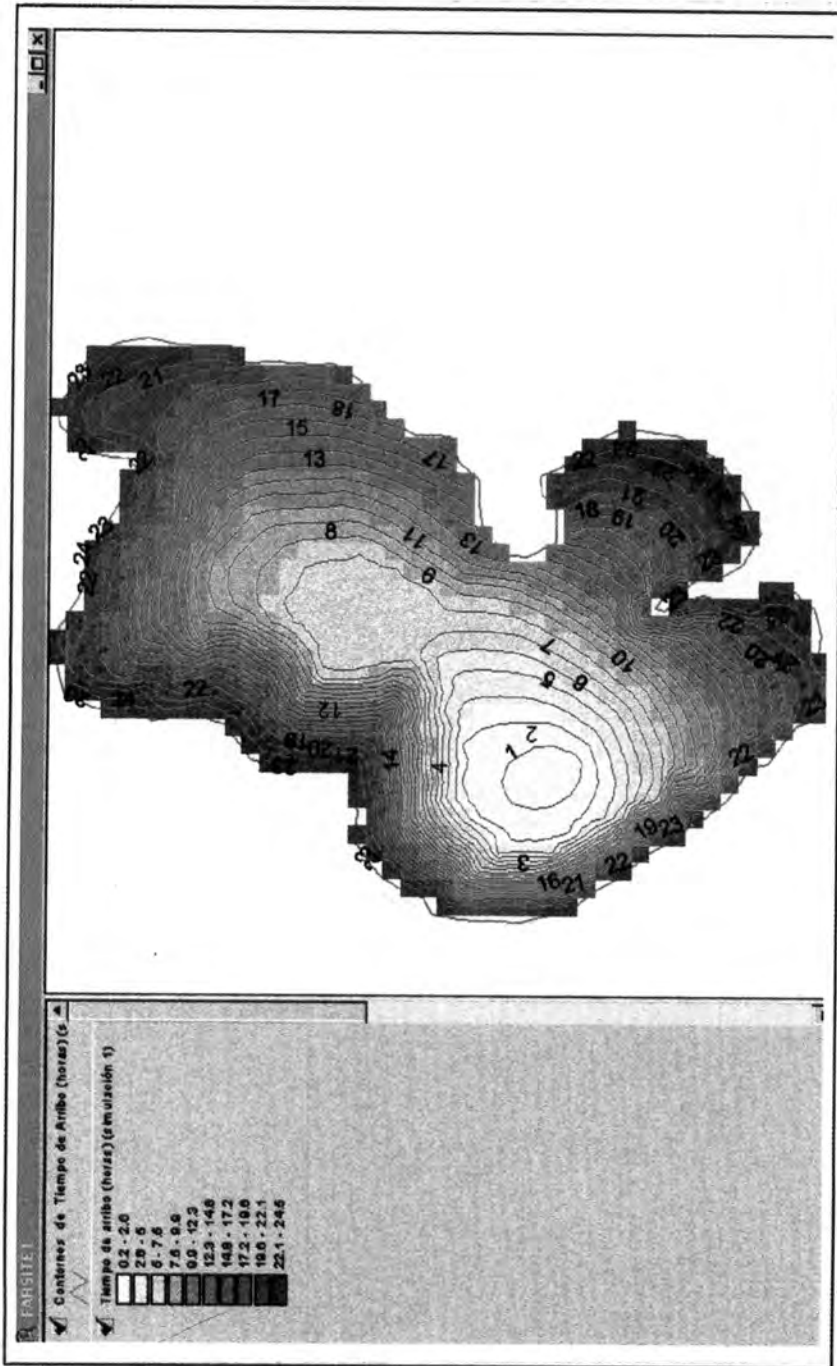


Figura 7. Despliegue de polígonos de la simulación con tiempos de arribo del fuego.

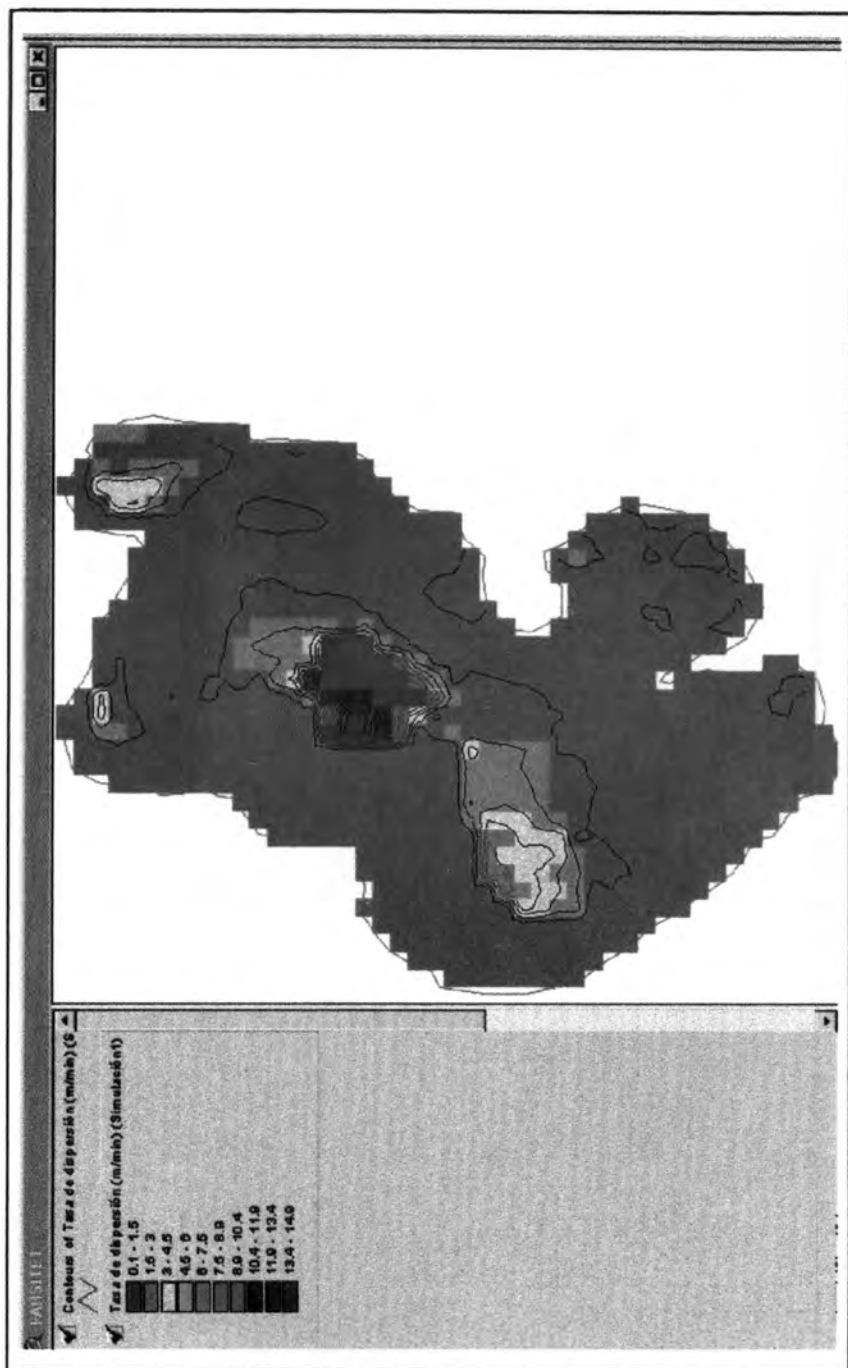


Figura 8. Despliegue de polígonos de la simulación con la tasa de dispersión del fuego.

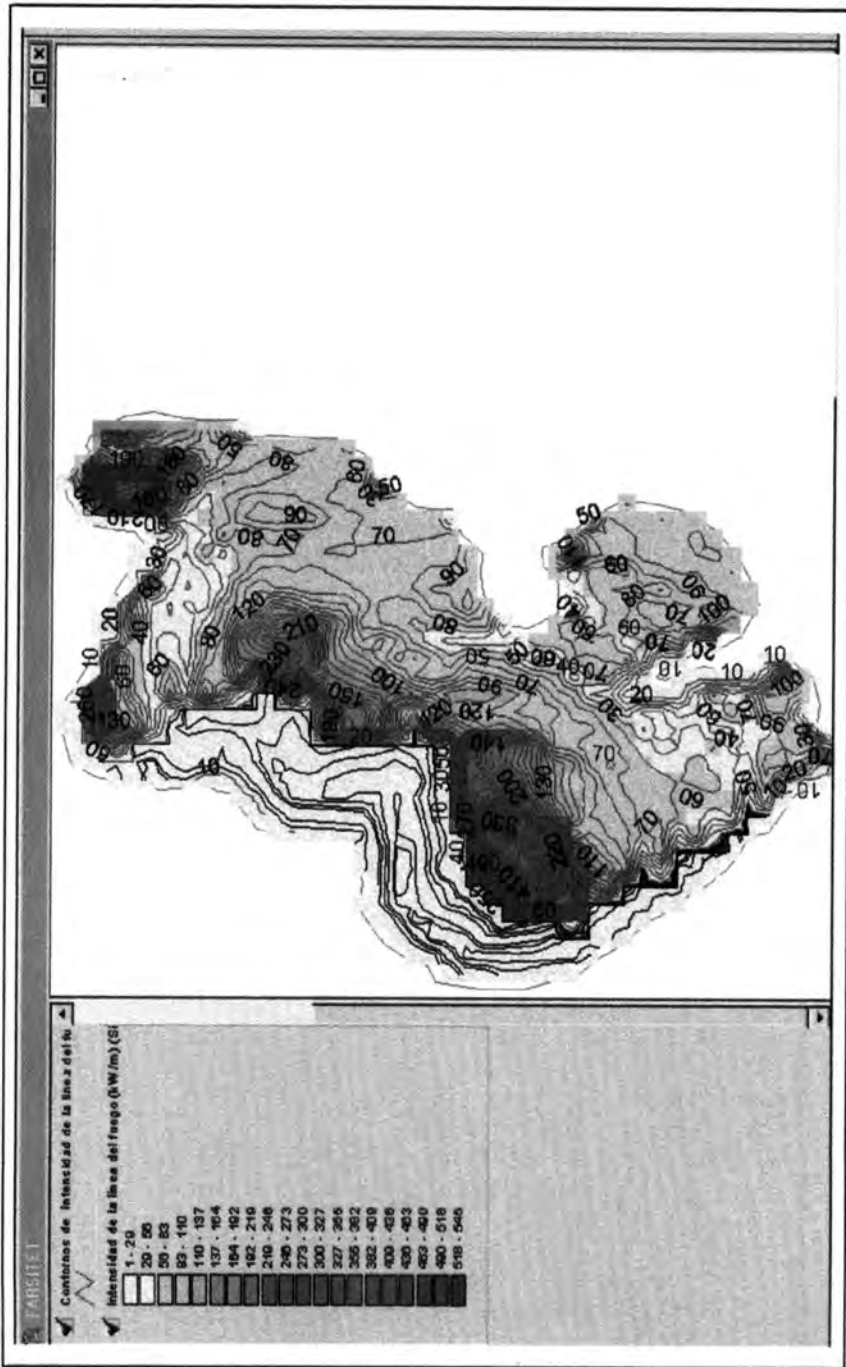


Figura 9. Despliegue de polígonos de la simulación con intensidad del calor de la llama.

CONCLUSIONES

La integración de los índices de peligro y simulación de incendios es factible operando en un ambiente SIG. El prototipo tiene la capacidad de proporcionar la información requerida en un programa de prevención de incendios en una escala de aplicación variable (estatal-local). Los resultados de los índices de peligro generados por el prototipo permiten clasificar áreas de alto riesgo en un contexto espacial y temporal. El componente de simulación de incendios del sistema puede constituir una herramienta de apoyo a los programas de manejo del fuego en áreas de alto riesgo. La capacidad de elementos de análisis que genera el SIG en la simulación de incendios representa una fuente de información valiosa para el estudio del comportamiento del fuego en diversos escenarios. Finalmente, es necesario mencionar que como en otros sistemas similares, el prototipo, requiere un proceso de afinación y calibración mediante validación en campo a fin de determinar la precisión con que el modelo predice los diferentes parámetros considerando diversas condiciones de topografía, tiempo atmosférico y combustibles forestales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el apoyo económico para la realización de la presente investigación a través del proyecto 415PN9607.

REFERENCIAS

- Albini, F.A. 1986. Wildland fire spread by radiation. A model including fuel coaling by natural convection. *Combust. Science and Technology* 45: 101-113.
- Anderson, H. E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA, Forest Service. General Technical Rep. INT - 122. pp. 32.
- Anderson, H. E., R. D. Shuette and R. W. Mutch. 1978. Timelag and equilibrium moisture content of ponderosa pine needles. USDA, Forest Service. Research Paper INT-202. pp. 27-28.
- Andrews, P. J. 1986. BEHAVE. Fire behavior prediction and fuel modeling. Burn subsystem. USDA, Forest Service, General Tech. Rep. INT-194. 36 p.
- Bradshaw, L. S. 1995. Wild Land Fire Assessment System. <http://www.fs.fed.us/land/wfas/>
- Burgan, R.E. 1988. Revisions to the 1978 National Fire-Danger Rating System. USDA, Forest Service. Research. Pap. SE-273. 39 p.
- Butler, J. R., P. J. O' Porke and F. H. Harlow. 1996. Forecasting Wildlandfire. USDA Forest Service. Research paper INT-415, pp. 11-12.

- Chuvieco, E. and G. Russell. 1996. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment* 29:147-159.
- Covarrubias A., C. L. Viscarra y P. A. Gomero. 1999. Sistema de adquisición de datos meteorológicos (Version 1.0 para Windows). Centro de Cómputo Universitario de la Unidad Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California.
- Deeming, J. E.; R. E. Burgan and J. D. Cohen. 1977. The National Fire Danger Rating System. USDA, Forest Service. General Technical Rep. INT-39. 63 p.
- Edge Publishing, Inc. 1997. File Dog (Versión 1.3 for Windows).
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1996. Using the Arc View spatial analyst (version 1.0 for Windows). New York, U.S.A.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1996. Arc View. Using the Arc View (version 3.0a for Windows). New York, U.S.A.
- Finney, M. A. 1998. FARSITE. Fire Area Simulator. User's guide and technical documentation. Version 3.0. Systems for environmental management. 78 p.
- Fosberg, M. A. 1971a. Derivation of the 1 and 10 hour timelag fuel moisture calculations for fire danger rating. USDA, Forest Service. Note RM-207. 8 p.
- Fosberg, M. A. 1971b. Moisture content calculations for the 100hr timelag fuel in fire danger rating. USDA, Forest Service. Note RM-199. 7 p.
- Green, L. R. 1981. Burning by prescription in chaparral. USDA, Forest Service. General Technical Rep. PSW-51. 32 p.
- Kelley, M. T. 1981. Reproductive cycle of fire regimen. USDA. Forest Service, General Technical Rep. WO-26. 12 p.
- Kilgore, B. M. 1981. Fire in ecosystem distribution and structure. USDA, Forest Service. General Technical Rep. WO-26. 7 p.
- Klaver, R. W., J. M. Klaver and R. E. Burgan. 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire* 8 (3):159-170.
- Magaña, O.S. 1985. Índices de peligro de incendios forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Boletín Divulgativo No. 70. 15 p.
- Martínez, M. A., G. G. Flores y J. D. Benavides S. 1990. Índices de riesgo de incendio en la sierra de Tapalpa, estado de Jalisco. *Ciencia Forestal en México* 15 (67):3-34.
- Michenerer, W. K., J. W. Brunt and S. G. Staffor 1994. Environmental information management and analysis ecosystem to global scales. Ed. Taylor & Francis. London, England. 12 p.
- Minnich, R. A. 1987. Fire behavior in Southern California and Northern Baja California. *Annual Association of American Geographers* 77:599-618.

- Minnich, R. A. 1989. Chaparral fire history in San Diego County and adjacent northern Baja California. Science Series, University of California, Riverside. pp. 37-47.
- Minnich, R. A. and E. Franco-Viscaino. 1998. Land of chamise and pines. University of California Publications in Botany, 80: 35-40.
- Pfirman, E. S. 1991. Image Display and Analysis. Version 4.0 User's Guide. USAID-USGS. 70 p.
- Rodríguez, T. D. A. y P. A. Sierra, 1992. Bosquejo histórico sobre diversos aspectos de los incendios forestales en México. Ciencia Forestal en México 17(72):115-174.
- Rothermel, R. C. 1976. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA, Forest service. Research Paper INT-115. 40 p.
- SEMARNAP. 1998. Datos estadísticos de Incendios en el estado de Baja California. Archivo técnico de la Delegación en Baja California de la SEMARNAP. n/p.
- Shugart, H. H. 1984. A theory of forest dynamic. The ecological implications of forest succession models Springer Verlag. New York, U.S.A 60 p.
- UNISYS WEATHER. 1999. <http://weather.unisys.com/index.html>
- UCAR WEATHER. 1999. http://www.rap.ucar.edu/weather/surface/us_temp
- Weise, F.R. 1993. Modeling and slope-induced wildland fire behavior. Ph. D. Dissertation. University of California, Berkely, C. A. 71 p.