

Proceso Estandarizado Para Generar Cartografía de Áreas Prioritarias Contra Incendios Forestales¹

José German Flores Garnica², Uri David Casillas Díaz³, Alejandra Macías Muro³

Resumen

En el ámbito de trabajo de los sistemas de información geográfica (SIG) existen ciertas tareas que se hacen en forma repetitiva y en ocasiones resultan monótonas. Donde se requiere estructurar, integrar y analizar, una serie de información georreferenciada. Que, sin embargo, lleva siempre la misma secuencia. Por lo que en este trabajo se desarrolló un modelo secuencial, que permite automatizar ciertos procesos en la definición de áreas prioritarias contra incendios forestales. Para esto se usa la herramienta *Model Builder* (ArcGis), la cual se basa en un lenguaje de programación visual, que permite estructurar la secuencia de los procesos. Para ejemplificar esto, se utilizaron capas de información de tipo vectorial, que corresponden a las variables de los tres criterios riesgo, peligro y valor, tales como; localidades y vías de comunicación en áreas forestales, el registro histórico de incendios, los polígonos de terrenos incendiados, comportamiento del fuego en ecosistemas forestales, clasificación de ecosistemas, pendiente, exposición, precipitación, temperatura, sequía, regímenes de fuego, áreas naturales protegidas, áreas para la conservación de las aves, sitios RAMSAR, pagos por servicios ambientales, áreas terrestres prioritarias, localidades indígenas, grados de pobreza y el valor maderable. Como resultado se obtuvo el modelo secuencial de las áreas prioritarias contra incendios forestales con base al cual se generó el mapa donde se ubica y dimensionan dichas áreas de acuerdo a su clasificación (muy bajo, bajo, medio alto y muy alto). Se concluye que por lo tanto, es una herramienta práctica, que ahorra tiempo en los procesos y secuencias, además de evitar producir errores humanos cuando se trabaja en forma manual. Finalmente se señala que el modelo secuencia es útil para zonificar áreas de protección. Esta información es importante para apoyar la toma de decisiones en la definición de estrategias de manejo del fuego.

¹ Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios de Incendios Forestales y Ecosistemas, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

² Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CIRPAC). Jalisco, México. Email: flores.german@inifap.gob.mx

³ Colaborador del Proyecto “Validación científica de la metodología de evaluación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales”. Jalisco, México. Email: green_5@hotmail.com

³ Colaborador del Proyecto “Validación científica de la metodología de evaluación de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales”. Jalisco, México. Email: arboristale@gmail.com

Palabras clave: SIG, Model Builder, ArcGis 10.1, Modelización

Introducción

México es un país mega diverso debido a la gran riqueza biológica de sus ecosistemas. Estos ecosistemas son considerados patrimonio nacional por lo tanto deben ser una prioridad de conservación (Comisión Nacional Forestal, 2013). Sin embargo, estos recursos se ven afectados por diversos factores, entre ellos los incendios forestales. En México se estima que cada año los incendios afectan en promedio 250,000 hectáreas de ecosistemas forestales. La mayoría de estos (98%) son provocados por el hombre, mientras que el resto lo son por fenómenos naturales (CONAFOR, 2013). Para atender la problemática de los incendios forestales se han implementado diversas estrategias, integradas bajo el concepto de manejo del fuego. En el cual, debido, a que los recursos humanos y económicos son limitados entre otros aspectos, deben definirse las áreas de atención prioritaria contra incendios forestales (Nolasco, 1993).

Para la definición de áreas prioritarias existen múltiples metodologías, las cuales consideran, generalmente, los criterios de riesgo, peligro y valor. Debido a que estos criterios involucran una elevada cantidad de variables, se hace necesario el uso de tecnologías que sean prácticas y aseguren una administración de datos georreferenciados y que optimicen el manejo y el análisis de la información geoespacial, como lo son los sistemas de información geográfica. De acuerdo a esto, el propósito de este trabajo, es el geo procesamiento para la generación de cartografía temática, sobre las áreas prioritarias contra incendios forestales. De tal forma que sirva para homogenizar procesos, y con ello hacer comparables y compatibles sus resultados generales, además de permitir el intercambio de información georreferenciada sobre el tema de áreas de protección contra incendios forestales. Además en el trabajo se presenta una innovación, que consiste en una aplicación generada que tendrá como objetivo la estandarización de la cartografía. Esta metodología apoyara los procesos de evaluación de áreas prioritarias contra incendios forestales.

Definición de Modelo

Un modelo es una representación o conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad (FAO, 2016). Los modelos son útiles para describir, explicar o

comprender mejor la calidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí (FAO, 2016).

La utilización de modelos es muy común y son especialmente importantes en el uso de SIG, porque con ellos se pueden comprender el funcionamiento y estructuración de los datos espaciales (FAO, 2016). El modelo secuencial, también llamado “ciclo de vida clásico” o “modelo en cascada” sugiere un enfoque sistemático, en acciones sucesivas para el desarrollo del software que empieza con el establecimiento de requisitos y pasa a las fases de análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento (Flórez, 2009).

La herramienta “Model Builder” es una aplicación en ArcGis el cual se utiliza para la creación, edición y administración de modelos de manera automatizada. Consiste en un procesamiento de lenguaje de programación visual que crea flujos de trabajo (MappingGIS, 2016). Para Esri (2012) el Model Builder es una aplicación que crea, edita y administra datos. Además, son flujos de trabajo que encadenan la ejecución secuenciada de herramientas de geo procesamiento y suministran la interacción con otra herramienta complementaria. La aplicación puede resultar de gran utilidad cuando se necesita realizar tareas repetitivas y complejas (SIGnatura, 2014).

Materiales y Métodos

Área de estudio

El análisis se aplicó al estado de Jalisco, en el cual se encuentra situado entre las coordenadas geográficas de 101° 28' latitud norte y entre 105° 42' longitud oeste. Se localiza en la parte centro-occidente y presenta límites al noroeste con los estados de Nayarit, al norte con Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí, en el este con Guanajuato y al sur limita con el estado de Colima y Michoacán (*Fig. 1*). Debido a las diferentes elevaciones que hay en el estado de Jalisco, éste se encuentra a una altitud máxima de 4.260 metros sobre el nivel medio del mar. Su territorio se extiende a 80.386 kilómetros cuadrados (Municipios, 2016).

El estado forma parte de las provincias: Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro y Eje Neo volcánico. Representa el 4.01% del territorio nacional (INEGI S/F). El clima es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 20.5 °C, la precipitación media anual es de 850 mm. La vegetación dominante son los bosques de coníferas y encinos; le siguen en importancia las selvas bajas caducifolia y mediana perennifolia (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal “Inafed”, 2016). También hay pastizales en la parte norte y noroeste (INEGI, 2016).

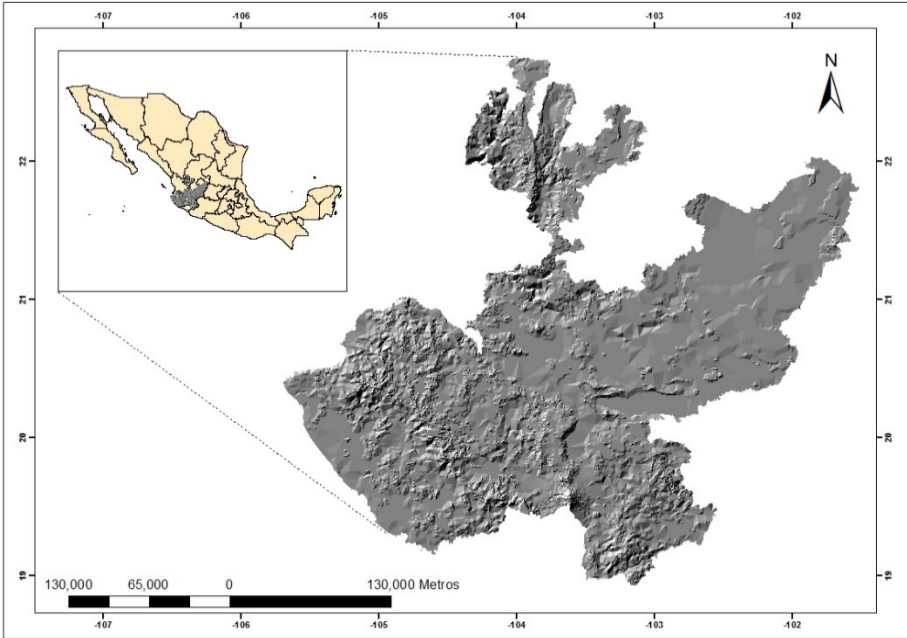


Figura 1– Área de estudio estado de Jalisco como prueba para generar cartografía estandarizada de zonas de protección contra incendios forestales.

Análisis de Riesgo

Se refiere a estudio de las variables que propician el inicio de los incendios forestales tales como la presencia de zonas urbanas, actividades agropecuarias con uso del fuego, caminos o accesos cerca y dentro de las áreas de protección, entre otros (*Tabla 1*) (CONAFOR, 2010).

Tabla 1– Información utilizada para el criterio de riesgo de incendios forestales.

CRITERIO	VARIABLE	FORMATO	FUENTE
RIESGO	Localidad proximidad	Vectorial, puntos	INEGI
	Localidad número de habitantes	Vectorial, puntos	INEGI
	Vías proximidad	Vectorial, líneas	INEGI
	Tipo de vía	Vectorial, líneas	INEGI
	Ocurrencia de incendios proximidad	Vectorial, puntos	CONAFOR
	Ocurrencia de incendios causas	Vectorial, puntos	CONAFOR
	Polígonos de terrenos incendiados	Vectorial, Polígonos	CONAFOR

Análisis de Peligro

Se refiere al análisis de las variables ambientales, características de los combustibles y de las condiciones del terreno, que determinarán la posibilidad de que un incendio se propague (*Tabla 2*) (CONAFOR, 2010).

Tabla 2— Información utilizada para el criterio de peligro de incendios forestales.

CRITERIO	VARIABLE	FORMATO	FUENTE
PELIGRO	Comportamiento y efecto del fuego en los ecosistemas	Vectorial, polígono	INEGI
	Clasificación de ecosistemas (sensibles, dependientes e	Vectorial, polígono	CONAFOR
	Pendiente	Raster	INEGI
	Exposición	Raster	INEGI
	Huracanes	Vectorial, línea	SMN
	Temperatura media anual	Vectorial, polígono	CONABIO
	Precipitación media anual	Vectorial, polígono	CONABIO
	Monitor de Sequía	Vectorial, polígono	SMN
	Regímenes de Fuego en ecosistemas forestales	Vectorial, polígono	Jardel <i>otros.</i> ,

Análisis de Valor

Se refiere a la valoración de los elementos que social, cultural y/o ecológicamente representan un interés de protección de los efectos ocasionados por la presencia de incendios forestales (*Tabla 3*) (CONAFOR, 2010).

Tabla 3— Información utilizada para el criterio de valor de incendios forestales.

CRITERIO	VARIABLE	FORMATO	FUENTE
VALOR	Áreas naturales protegidas	Vectorial, polígono	CONANP
	Área de importancia para la conservación de las aves	Vectorial, polígono	CONABIO
	Sitios RAMSAR	Vectorial, polígono	CONABIO
	Zonas elegibles hidrológicas	Vectorial, polígono	CONAFOR
	Zonas para la conservación de la biodiversidad	Vectorial, polígono	CONAFOR
	Áreas terrestres prioritarias	Vectorial, polígono	CONABIO
	Comunidades indígenas	Vectorial, puntos	CONABIO
	Índice de desarrollo humano	Vectorial, polígono	CONABIO
	Grados de pobreza	Vectorial, polígono	CONABIO
	Zonas de Atención Prioritaria	Vectorial, polígono	SEDESOL
	Sistema Nacional Contra el Hambre	Vectorial, polígono	SEDESOL
	Existencias reales de bosque natural	Vectorial, polígono	INEGI
	Valor maderable	Vectorial, polígono	INEGI

Procesamiento de la información

En este geo procesamiento se utilizaron los datos georreferenciados, antes mencionados, utilizando un sistema de información geográfica (ArcGis 10.1). Así mismo como herramienta para estandarizar dicha información, se empleó el modelo secuencial (Model Builder). Primeramente se realizó la búsqueda de la información vectorial y raster, a través de diferentes fuentes de información disponible y confiable que hay en el país y en la entidad. Posteriormente se realizó la limpieza de datos, esto con el fin de que a cada variable se le asignará el mismo sistema de coordenadas además el mismo tamaño de representación (escala), para que las variables se extrapolaran unas con otras. El tipo de proyección asignada para el estado de Jalisco le corresponde a la WGS84 zona 13 Norte, según el sistema de coordenadas UTM (métricas). Posteriormente, las variables se asignaron en el criterio al que le corresponde tales como; riesgo, peligro y valor, para después asignar los criterios de ponderación para cada una de las variables. Esto con el fin de obtener un valor en cada pixel poder efectuar operaciones aritméticas tales como la suma de capas (álgebra de mapas) (Fig. 2).

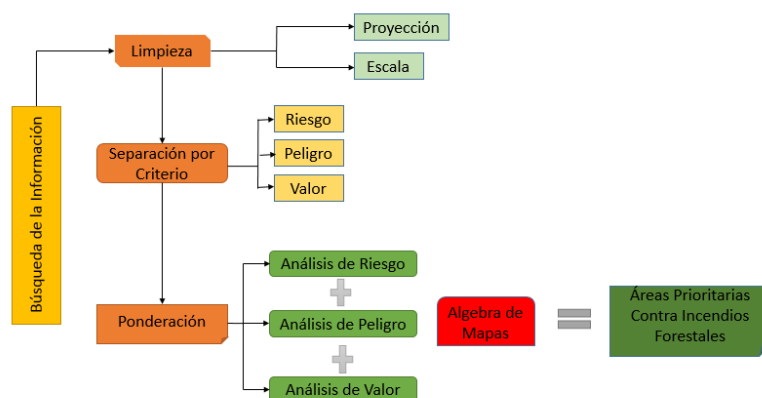


Figura 2– Estructura del proceso para realizar un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales.

Partiendo una serie de geo procesamientos para el “*análisis de riesgo*” de incendios forestales, se utilizaron herramientas que se asignan al modelo secuencial. Posteriormente se obtienen como resultados las capas en formato raster para cada de una de las variables. Esto con el fin de obtener valores en los pixeles y poder efectuar el cálculo del álgebra de mapas. Para el caso de riesgo de incendio forestal, se observa en la *Figura 3* el geo procesamiento establecido para dicho análisis. El geo proceso permitió estandarizar la herramientas con las que se trabajó para obtener el mapa de riesgo. Además es una aplicación práctica, donde los círculos (azules) son los parámetros o campos donde se asignan las variables, en este caso las de riesgo,

posteriormente el modelo se “corre” y automáticamente las herramientas (círculos amarillos) comienzan a trabajar y así se van obteniendo resultados (círculos verdes).



Figura 3– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de riesgo de incendio forestal.

Para el caso del “*análisis de peligro*” se realiza un procedimiento similar al de riesgo, sin embargo, en este se emplean diferentes variables y métodos de herramientas. Nuevamente se utiliza la aplicación Model Builder, con el objetivo de automatizar y/o estandarizar la cartografía, posteriormente se obtienen los resultados de las capas de información en formato raster de cada una de las variables, así mismo se aplica nuevamente el cálculo del algebra de mapas, para finalmente obtener el mapa de peligro de incendios forestales. El modelo secuencial para el análisis de peligro, permite automatizar las herramientas con las que se están trabajando, además asigna parámetros para que la cartografía se obtenga de una manera estandarizada (Fig. 4).



Figura 4– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de peligro de incendio forestal.

Para el caso del “*análisis de valor o daño potencial*” se realiza un procedimiento similar al de riesgo y peligro, sin embargo, en este se emplean diferentes variables y métodos de herramientas. Utilizando la aplicación Model Builder, como objetivo principal permite automatizar los geos procesos y estandarizar la cartografía, donde finalmente se obtienen los resultados de las capas de información en formato raster de cada una de las variables, así mismo se aplica el cálculo del algebra de mapas, para finalmente obtener el mapa de valor de incendios forestales (Fig. 5).



Figura 5– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de valor de incendio forestal

Resultados

Se obtuvo la “cartografía temática de riesgo” de acuerdo a los indicadores utilizados, a los cuales se basaron en antecedentes sobre localización y tamaño de los centros de población, la red de vías de comunicación clasificadas según sus tipos de carpeta de rodado, además de la ocurrencia histórica de incendios y sus posibles causas, en último término la superficie de las áreas siniestradas. Esta se realizó con la integración de las variables antes mencionadas de una forma estandarizada en un modelo secuencial.

Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética, el cual consiste en una división. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “0” y la máxima de “20”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 1 al 6; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 7 al 12 y el nivel de riesgo alto del 13 al 20. Con ello se generó el mapa de riesgo de incendios forestales (*Fig. 6*).

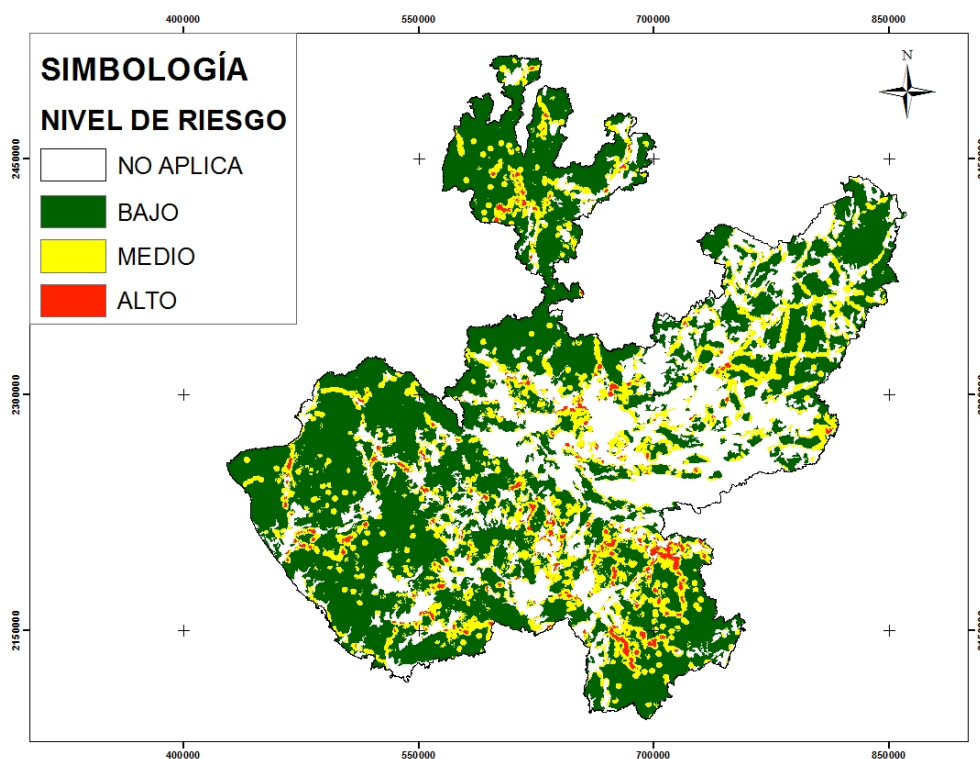


Figura 6– Riesgo de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

Después de analizar cada variable para el criterio de peligro de incendios, se efectuó la integración de total de estas. Con esto se obtuvo “*la cartografía temática de peligro*”. Es importante comprender cuales son todos los aspectos tomados en cuenta y como se manejan los distintos valores para cada una de las variables para el geo proceso de zonificación. Además es necesario determinar qué nivel de peligro representa cada variable. Por lo cual, se considera conveniente analizar a detalle cada

una ellas, con el fin de que las puntuaciones son otorgadas para la zonificación y en qué criterios fueron basadas.

Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “5” y la máxima de “29”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 5 al 13; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 14 al 21 y el nivel de riesgo alto del 22 al 29. Con ello se generó el mapa de peligro de incendios forestales (Fig. 7).

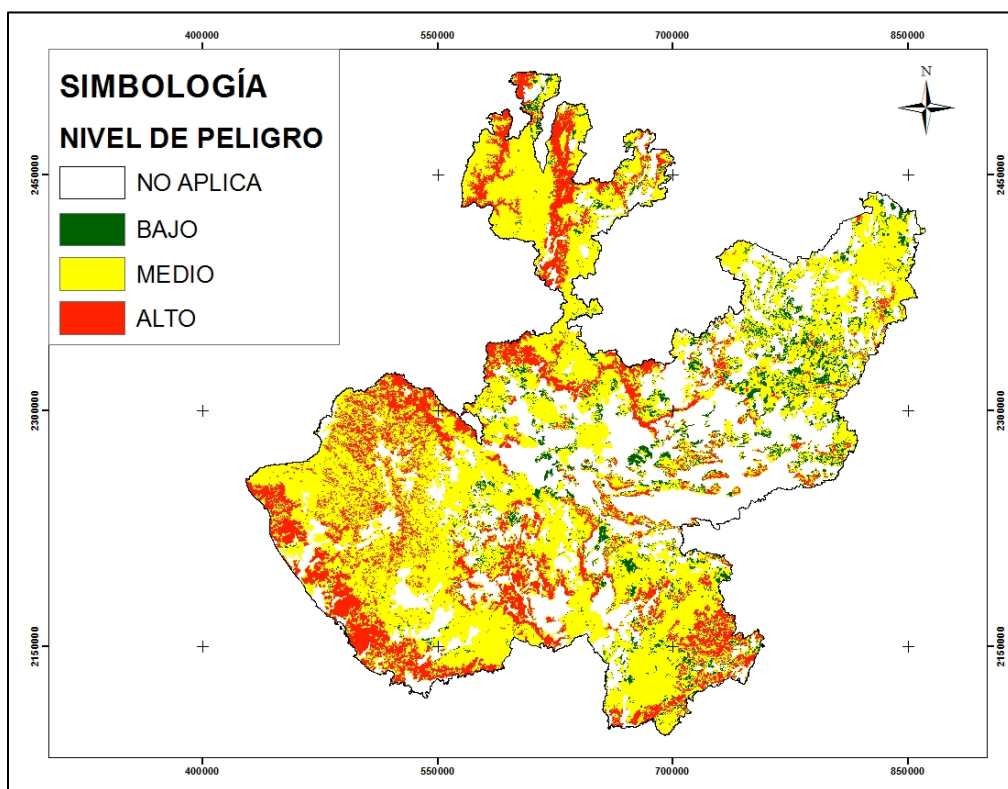


Figura 7– Peligro de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

Al realizar la suma de las capas de información, con sus valores de ponderación para este análisis, se categorizan en tres diferentes tipos de grado, según el nivel que le corresponde. Para determinar las tres categorías de análisis “*bajo, medio y alto*” se clasifica por medio de una operación aritmética. Donde la puntuación mínima obtenida fue de “1” y la máxima de “24”. En función de ello, se optó respetando las proporciones de la ponderación inicialmente otorgada, con lo cual se dividió esta calificación obtenida de manera proporcional para cada uno de

los niveles, es decir, en tercios, con lo cual el nivel bajo de riesgo quedó con puntuaciones del 1 al 8; el nivel de riesgo medio se encuentra el rango del 9 al 16 y el nivel de riesgo alto del 17 al 24. Con ello se generó “la cartografía temática de valor” de incendios forestales (Fig. 8).

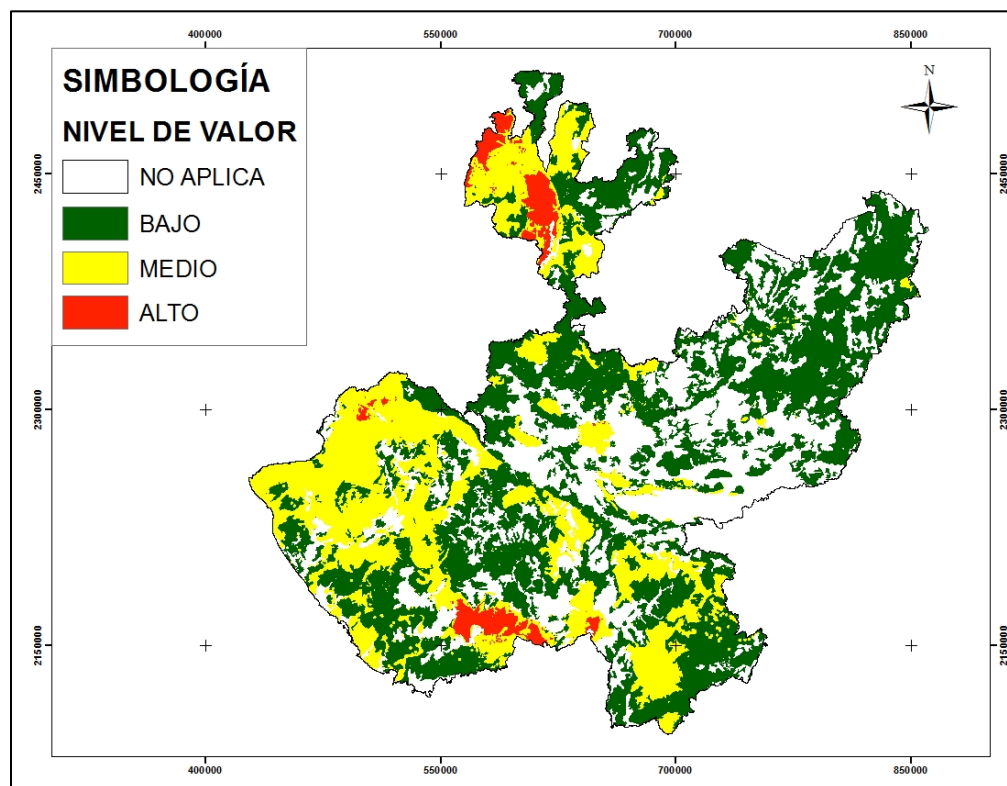


Figura 8– Valor de incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus tres categorías de análisis “bajo, medio y alto”.

Cartografía temática de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales

La integración de los criterios de riesgo, peligro y valor, permite establecer áreas con prioridades de protección para el control de incendios forestales. El procedimiento consistió en asignar puntajes ponderados a cada una de los criterios. Estos puntajes se suman por medio del cálculo del álgebra de mapas, así mismo cada pixel contiene un valor de prioridad (Fig. 9).

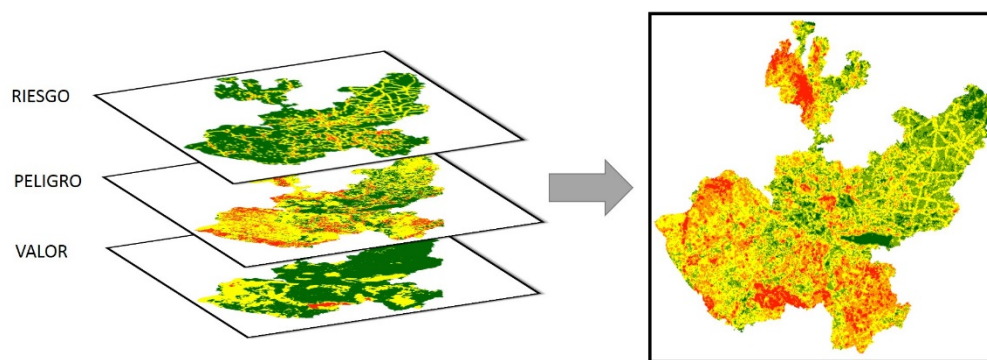


Figura 9– Operación aritmética, para el caso de la suma de capas para los criterios de riesgo, peligro y valor, para establecer el mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales.

El modelo secuencial para el análisis de prioridad permite automatizar la herramienta “*Raster Calculator o Algebra de Mapas*” que se utilizó para generar la cartografía temática de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales (Fig. 10).

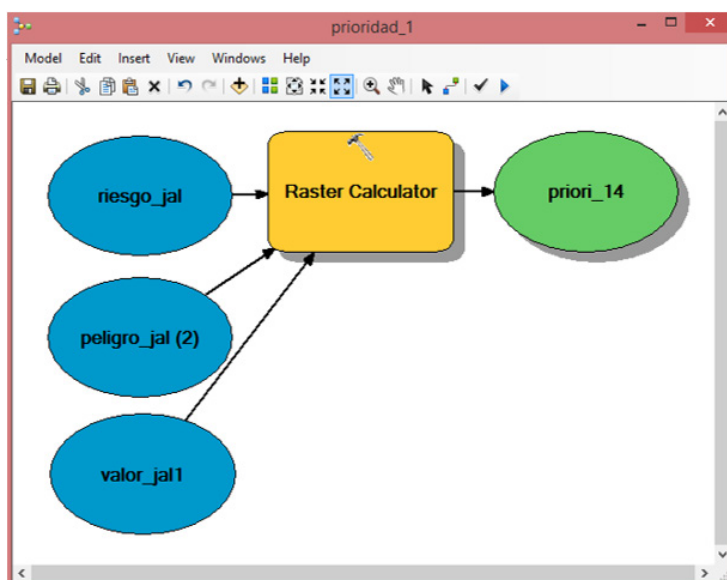


Figura 10– Estructura del modelo secuencial para generar procesos estandarizados para el análisis de prioridad contra incendios forestales.

Las áreas prioritarias contra incendios forestales, permiten evaluar la distribución espacial del problema originado por la ocurrencia y propagación de incendios forestales y proporcionan la base para la planificación de actividades de prevención y combate que se requiere implementar o reformular en un programa de protección (Nolasco, 1993). Se utilizó una clasificación de cinco categorías (muy

bajo, bajo, medio alto y muy alto). Lo anterior con la finalidad de que se determinen de manera más precisa las zonas a proteger (*Fig. 11*).

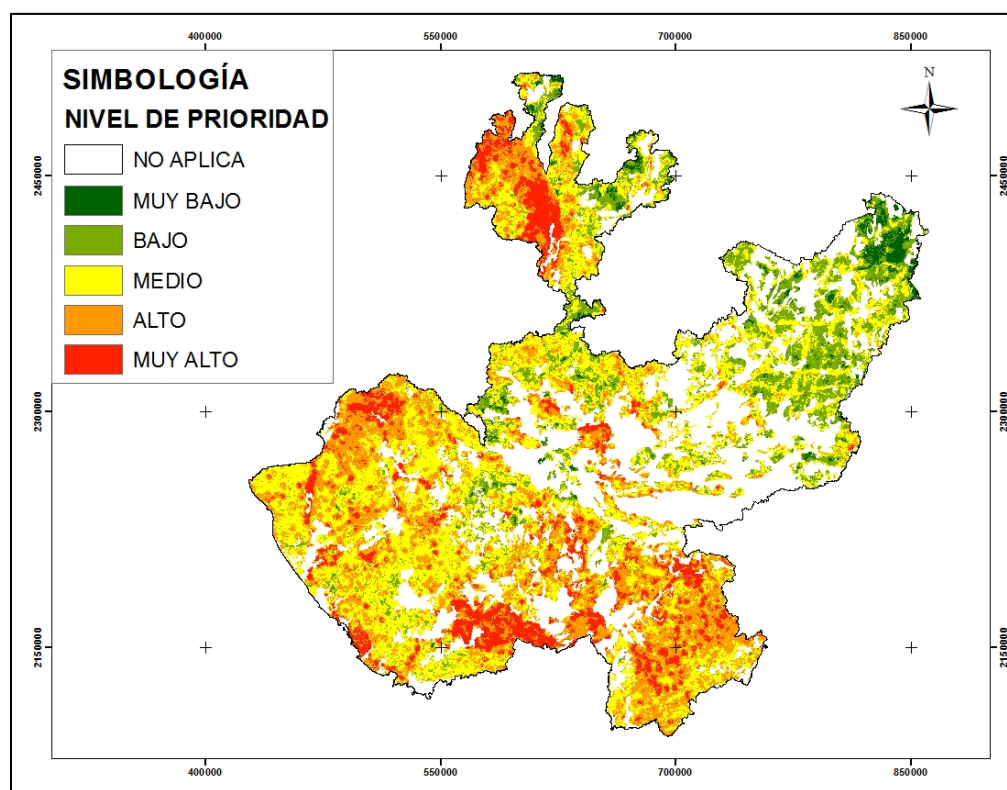


Figura 11– Áreas prioritarias contra incendios forestales en el estado de Jalisco, con sus respectivas categorías de análisis “muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto”.

Conclusiones

Una de las principales ventajas en el uso de un modelo secuencial es la automatización de trabajos. En el cual permite a los usuarios no repetir las mismas herramientas con las que se encuentran trabajando. Es una aplicación clara y sencilla, ya que su entorno visual simplifica mucho la comprensión de los geo procesos que se llevan a cabo. Es una forma de entender cómo funcionan los geo procesos espaciales. Además no se necesita conocer algún lenguaje de programación como; Java, html, php, sql entre otros, ya que el entorno gráfico permite entender la estructura del modelo.

El uso de modelos compactos, permite no cometer errores al momento de ejecutar las herramientas. Además permite ahorrar tiempo y esfuerzo. También es posible conocer el tiempo en el que se ejecuta cada herramienta. Finalmente, el análisis de la cartografía temática aporta la base necesaria para diseñar, implementar,

organizar y aplicar en periodos futuros la mejor toma de decisiones en materia del manejo del fuego. Además permite utilizar los mapas como difusión en congresos y material didáctico en las universidades del país y en el extranjero.

Referencias

- Comisión Nacional Forestal “CONAFOR”.** 2010. Procedimiento para elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. Gobierno Federal. México: 4.
- Comisión Nacional Forestal “CONAFOR”.** 2013. Incendios Forestales en México temporada 2013. Consultado el día 2 de septiembre del 2016. Página del Gobierno de la Republica.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4339Campa%C3%B1a%20de%20contra%20incendios%202013.pdf>
- Environmental Systems Research Institute “ESRI”.** 2012. ¿Qué es Model Builder? Consultado el día 15 de septiembre del 2016. Disponible en:
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/009t00000002000000000000/>
- Environmental Systems Research Institute “ESRI”.** 2016. ARCGIS Pro. Consultado el día 15 de septiembre del 2016.
- Flórez, F. H. A.** 2009. Procesos de ingeniería de software. Universidad del Bosque de Bogotá, Colombia: 1.
- Food and Agriculture Organization “FAO”.** 2016. Modelo y su uso. Consultado el día 6 de septiembre del 2016. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s01.htm>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática “INEGI”.** S/F. Regiones naturales y biogeografías de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática: 347
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática “INEGI”.** 2016. Información por entidad. Consultado el día 14 de septiembre del 2016. Disponible en:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=31>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal “INAFED”.** 2016. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Consultado el día 4 de Agosto del 2016. Disponible en:
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/mediofisico.html>.
- MappingGIS,** 2016. Model Builder o Phyton. Consultado el día 9 de septiembre del 2016. Disponible en: <http://mappinggis.com/2015/06/model-builder-o-python/>
- Municipios,** 2016. Municipios de Jalisco. Consultado el día 30 de septiembre de 2016. Disponible en: <http://www.municipios.mx/jalisco/>
- Nolasco, M. A.** 1993. La protección contra incendios forestales en el estado de Quintana Roo. Memoria de Experiencia profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad de Autónoma de Chapingo. Estado de México: 39.

SIGNatura, 2014. Model Builder Sextante (gvSIG, QGIS). Consultado el día 15 de septiembre del 2016. Disponible en:
<https://signatura21.wordpress.com/2014/11/13/model-buildersextante-gvsig-qgis/>