



MAPEO Y ANÁLISIS ESPACIAL DE RIESGOS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA

MAPPING AND SPATIAL ANALYSIS OF RISKS BY FORESTAL WILDFIRES IN THE MUNICIPALITY OF SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA

Óscar Arturo Ramos Ramírez
3101519
Ingeniero Catastral y Geodesta

Director:

Ing. Freddy León Reyes M.Ed

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA

NOVIEMBRE DE 2020

BOGOTÁ - COLOMBIA

MAPEO Y ANÁLISIS ESPACIAL DE RIESGOS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA

MAPPING AND SPATIAL ANALYSIS OF RISKS BY FORESTAL WILDFIRES IN THE MUNICIPALITY OF SAN FRANCISCO, CUNDINAMARCA

Óscar Arturo Ramos
Ingeniero Catastral y Geodesta
Estudiante Esp. en Geomática
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
est.oscar.ramos@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En la presente investigación se obtendrán diferentes capas ráster que pueden ser de ayuda en procesos de gestión del riesgo relacionados con incendios forestales en el municipio de San Francisco. A través de herramientas de geoprocésamiento y álgebra de mapas, junto con información espacial satelital y de uso libre, se construirán mapas de susceptibilidad de la vegetación rural, relieve y accesibilidad que se categorizarán de acuerdo con su nivel de amenaza en torno al fenómeno natural en cuestión y en inmediaciones del suelo rural de la zona de estudio. El documento se enfocará en el breve análisis de cada uno de los pasos a seguir para la consecución de los mapas anteriormente mencionados partiendo de la susceptibilidad construida a partir del tipo, carga y duración de combustión de los distintos tipos de vegetación presentes en el municipio basando su clasificación en los tipos de cobertura de la tierra y asignándole un valor numérico dependiendo del tipo de vegetación para así poder operar de manera matemática estas características de la vegetación. Seguidamente se construirán los factores climáticos asociados a la precipitación y la temperatura - información de uso libre que puede ser descargada desde el IDEAM en formato ráster o vectorial- y que dado su escala de información son datos que generalizan a varios municipios del departamento de Cundinamarca, pero son de valiosa ayuda para el objetivo de la investigación. Luego se procede a calcular el factor del relieve a través del geoprocésamiento del modelo digital del terreno dispuesto para la zona de estudio y sus alrededores, calculando y clasificando su grado de pendiente para después categorizarla asignándole su respectivo grado de amenaza debido a esta característica; después se calculará el factor histórico a través de un par de ecuaciones que trascriben el comportamiento de frecuencia y causalidad de ocurrencia a través de los registros históricos sobre incendios que se tienen del municipio para posteriormente dar lugar al cálculo del factor de accesibilidad que proporciona de manera visual y numérica las zonas de influencia creadas a partir de las vías

principales y secundarias que permite evaluar la amenaza presente debido a la distancia a partir de estas. Con todos los ingredientes antes calculados, y posteriormente ponderados, la presente investigación permitirá construir el mapa de amenaza por riesgos de incendios forestales en el municipio de San Francisco y a su vez ejecutar un análisis visual a partir de este y probablemente ser usado como insumo en futuras tomas de decisiones con respecto al ordenamiento territorial del municipio.

Palabras Clave: Incendios forestales; Gestión del riesgo; Algebra de mapas; Imágenes satelitales; Cobertura de la tierra; Ordenamiento territorial.

ABSTRACT

In this research, different raster layers will be obtained that can be helpful in risk management processes related to forestal wildfires in the municipality of San Francisco. Through geoprocessing and map algebra tools, together with satellite spatial information and free use, susceptibility maps of rural vegetation, topography and accessibility will be constructed that will be categorized according to their level of threat around the natural phenomenon in question and in the vicinity of the rural land of the study area. The document will focus on the brief analysis of each of the steps to follow in order to achieve the aforementioned maps, based on the susceptibility built from the type, load and duration of combustion of the different types of vegetation present in the municipality, basing its classification in the types of land cover and assigning it a numerical value depending on the type of vegetation in order to be able to operate these characteristics of the vegetation in a mathematical way. Next, the climatic factors associated with precipitation and temperature will be constructed - information of free use that can be downloaded from IDEAM in raster or vector format - and that given its information scale are data that generalize to several municipalities of the department of Cundinamarca, but they are of valuable help for the purpose of the investigation. Then the topography factor is calculated through the geoprocessing of the digital terrain model available for the study area and its surroundings, calculating and classifying its degree of slope and then categorizing it by assigning it its respective degree of threat due to this characteristic; then the historical factor will be calculated through a pair of equations that transcribe the behavior of frequency and causality of occurrence through the historical records on wildfires that are kept in the municipality to later give rise to the calculation of the accessibility factor that provides in a visual and numerical way the zones of influence created from the main and secondary roads that allow evaluating the present threat due to the distance from them. With all the ingredients previously calculated, and subsequently weighted, this research will allow the construction of the hazard map for forest fire risks in the municipality of San Francisco and, in turn, execute a visual analysis from this and probably be used as an input in future decision-making regarding the territorial planning of the municipality.

Keywords: Forestal wildfires; Risk management; Map algebra; Satellital imagery; Landcover; Territorial planning.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una de las causales por las que una determinada entidad territorial pierde gran parte de su biomasa en la zona rural. Esto supone una gran amenaza para la vegetación que allí se encuentra, la vida salvaje, los asentamientos humanos situados cerca de dichos eventos e incluso para las actividades económicas locales. Es por esto por lo que las corporaciones autónomas regionales de todo el territorio nacional se encargan de ejecutar estudios de amenazas, vulnerabilidades y riesgos en los municipios de los departamentos que se encuentran en su jurisdicción, con el fin de fortalecer los planes de gestión del riesgo que los municipios deben integrar en sus próximos planes de ordenamiento territorial e incluso en sus planes de desarrollo para primar la vida y la naturaleza sobre otros aspectos. (Páramo, 2007)

Para determinar las áreas que son susceptibles a sufrir incendios forestales es necesario realizar una serie de procedimientos planteados por las corporaciones autónomas regionales que requieren una serie de insumos obtenidos previamente por profesionales de campo que ejercen su labor en inmediaciones de la zona de estudio. Estos insumos serán los que sustentarán la presente investigación para determinar y zonificar las zonas de riesgo y amenaza por incendios forestales. La metodología para seguir es la planteada en el año 2011 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) fundamentada en la evaluación de cada uno de los componentes de las amenazas, vulnerabilidades y riesgos a través de diversos parámetros con enfoque espacial y apoyados por medio de sistemas de información geográfica.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán factores e insumos existentes consistentes en cuatro grupos: factores de accesibilidad, factores históricos, factores de susceptibilidad y factores climáticos. A rasgos generales, los factores de accesibilidad consisten en la infraestructura vial y el comportamiento del relieve; los factores históricos revelan la frecuencia con la que ocurren incendios forestales en la zona; los factores de susceptibilidad requieren un complejo modelo de combustión de la vegetación a través de la cobertura vegetal del municipio y, por último, los factores climáticos contemplan parámetros naturales que influyen en la creación y propagación de los incendios forestales. (IDEAM, 2011)

Durante la elaboración de un plan de gestión de riesgos en cualquier municipio de Colombia se hace necesario evaluar las cuatro amenazas de vulnerabilidades y riesgos (AVR) -avenidas torrenciales, movimientos en masa, inundaciones e incendios forestales- dado que es un insumo esencial en la planificación urbana y rural de la principal unidad territorial del país, el municipio.

Para la presente investigación se pretende abordar el área rural del municipio de San Francisco ubicado en el departamento de Cundinamarca, con el fin de evaluar las coberturas vegetales presentes en dicha zona de estudio. Para ello se emplearán capas vectoriales con atributos espaciales que clasifiquen los tipos de vegetación presentes en el territorio, desde pastos limpios hasta bosques densos e introduciendo

otras variables asociadas a posibles conflagraciones y expansión del fuego en caso de producirse alguno en el territorio rural, ya sea iniciado de forma natural o antrópica.

Los resultados finales serán de ayuda para organizar un plan de mitigación y gestión del riesgo en cuanto al ordenamiento territorial del municipio teniendo en cuenta las afectaciones que podrían producirse en lugares cercanos a niveles elevados de amenaza por propagación de incendios forestales dentro del territorio de San Francisco.

Para alcanzar dichos objetivos se emplearán metodologías ya descritas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), sujetas a variables como la susceptibilidad de la vegetación, a la combustión de esta, la velocidad de los vientos, la radiación solar, entre otras. Estos insumos son suministrados por la misma entidad a través de sus estudios de amenazas, vulnerabilidades y riesgos donde se extraerán ciertas capas vectoriales de interés para desarrollar los diferentes geoprocesos necesarios para la consecución del objetivo planteado en esta investigación; de igual manera, los resultados obtenidos serán cartografiados de tal forma que sean un producto final para la toma de decisiones en un futuro donde ocurran estos acontecimientos de fenómenos naturales, en este caso incendios forestales. (CAR Cundinamarca, 2016)

Dado que el municipio de San Francisco no cuenta con mapas o cartografía asociado a ellos que permitan visualizar los riesgos y amenazas provocados por los diferentes fenómenos naturales, es conveniente investigar una forma de evitar posibles riesgos a futuro que eviten desastres económicos o sociales, y dado que esto no se planteó en el antiguo Plan de Ordenamiento Territorial (POT), es pertinente empezar con algunos de los cuatro riesgos naturales más comunes a tener en cuenta en el POT, en este caso los incendios forestales. Por tanto, se plantea evaluar la susceptibilidad de la vegetación presente en el municipio en cuanto a la creación y propagación de fuego a partir de factores medioambientales; clasificar las áreas dentro del suelo rural que puedan tener nivel bajo, medio o alto de amenaza por incendios forestales; y generar salidas gráficas y mapas que permitan al usuario entender las dinámicas de los incendios forestales dentro del municipio de San Francisco.

En ese orden de ideas, el objetivo general de esta investigación pretende zonificar las potenciales amenazas por incendios forestales en la zona rural del municipio de San Francisco, ubicado en el departamento de Cundinamarca. De esta manera los resultados finales de este estudio podrían servir de apoyo para futuros planes de gestión del riesgo, donde la alcaldía municipal se encargue de implementarlos a través del ajuste, revisión o creación del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio y así tomar medidas a tiempo sobre futuros desastres causados por este tipo de fenómenos naturales.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Según la metodología oficial desarrollada por el IDEAM, existen dos clases de insumos de tipo vectorial y ráster para llevar a cabo el desarrollo de cartografía asociada a la gestión de riesgos, estas dos clases se dividen en insumos obligatorios y opcionales. Dado que los insumos opcionales solo brindan información acerca de datos estadísticos, poblacionales e históricos que no son relevantes para la elaboración de cartografía temática, se usarán únicamente los insumos obligatorios. Estos insumos son las capas de las vías, hidrografía, curvas de nivel, cobertura de la tierra, precipitación media anual, temperatura media anual, pendientes, entre otros.

1.1 SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN

Para empezar con el desarrollo de la cartografía correspondiente se debe generar el mapa de susceptibilidad de la vegetación a contraer incendios forestales. Para este punto previamente se debe calcular la combustibilidad de dicha cobertura vegetal para lo cual se requiere evaluar el tipo, la duración y la carga de combustibles, para posteriormente sumar estos tres factores, dado que:

Ecuación 1. Cálculo de la susceptibilidad de la vegetación

$$SUSCEPTIBILIDAD = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(cc)$$

Donde:

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible

CAL(dc): Calificación por duración de combustible

CAL(cc): Calificación por carga de combustible

El municipio de San Francisco cuenta con 28 coberturas de la tierra a nivel general y a una escala 1:25.000 y de acuerdo con estas se clasifican las tres calificaciones descritas anteriormente. Dado que el instructivo para la elaboración de mapas de gestión y protocolos para incendios forestales está diseñado para escalas 1:100.000 o menores, se tiene en cuenta la equivalencia de las coberturas de la tierra hasta el nivel 3 del sistema Corind Land Cover, lo que no repercute para nada en el resultado final de los productos cartográficos planteados.

1.1.1 CALIFICACIÓN POR TIPO DE COMBUSTIBLE

A partir de la información vectorial sobre las coberturas del municipio de San Francisco, estas se reclasifican de acuerdo con el tipo de combustibilidad que presenta la superficie vegetal. Dado que existen distintos tipos de vegetación también existen

distintos tipos de combustión de las plantas en función a su estructura, tamaño y composición; de acuerdo con lo anteriormente descrito, la calificación por tipo de combustible para cada cobertura vegetal presente en el municipio se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 1. Calificación por tipo de combustible

Cobertura	Tipo Combustible	Calificación	Cobertura	Tipo Combustible	Calificación
Tejido urbano continuo	No Combustible	1	Vegetación secundaria alta	Árboles/Arbustos	3
Tejido urbano discontinuo	No Combustible	1	Vegetación secundaria baja	Pastos	3
Zonas industriales	No Combustible	1	Cultivos transitorios	Hierbas	4
Red vial y territorios asociados	No Combustible	1	Otros cultivos permanentes arbustivos	Arbustos	4
Explotación de materiales de construcción	No Combustible	1	Café	Arbustos	4
Escombreras	No Combustible	1	Cultivos confinados	Hierbas	4
Afloramientos rocosos	No Combustible	1	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Hierbas	4
Tierras desnudas y degradadas	No Combustible	1	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	Hierbas	4
Ríos	No Combustible	1	Herbazal abierto rocoso	Hierbas	4
Cuerpos de agua artificiales	No Combustible	1	Zonas deportivas	Pastos	5
Cultivos permanentes arbóreos	Árboles	2	Áreas turísticas	Pastos	5
Bosque denso	Árboles	2	Pastos limpios	Pastos	5
Plantación forestal	Árboles	2	Pastos arbolados	Pastos	5
Arbustal denso	Arbustos	3	Pastos enmalezados	Pastos	5

1.1.2 CALIFICACIÓN POR DURACIÓN DE COMBUSTIBLE

La duración de combustibles indica el tiempo aproximado medido en horas, en el que una determinada cobertura de la tierra puede llegar a estar consumiéndose por el fuego. Esta duración está íntimamente relacionada con el tipo de combustible que presenta dicha cobertura de la tierra donde las áreas urbanas y los no combustibles tienen la calificación menor, mientras que la vegetación relacionada con los pastos tiene una calificación máxima.

Tabla 2. Calificación por duración de combustible

Cobertura	Duración Combustible	Calificación	Cobertura	Duración Combustible	Calificación
Tejido urbano continuo	Áreas Urbanas	1	Otros cultivos permanentes arbustivos	10 horas	3
Tejido urbano discontinuo	Áreas Urbanas	1	Café	10 horas	3
Zonas industriales	No Combustibles	1	Cultivos confinados	10 horas	3
Red vial y territorios asociados	Áreas Urbanas	1	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	10 horas	3
Explotación de materiales de construcción	No Combustibles	1	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	10 horas	3
Escombreras	No Combustibles	1	Herbazal abierto rocoso	10 horas	3
Afloramientos rocosos	No Combustibles	1	Arbustal denso	10 horas	3
Tierras desnudas y degradadas	No Combustibles	1	Vegetación secundaria alta	10 horas	3
Ríos	No Combustibles	1	Vegetación secundaria baja	10 horas	3
Cuerpos de agua artificiales	No Combustibles	1	Zonas deportivas	1 hora	4
Cultivos permanentes arbóreos	100 horas	2	Áreas turísticas	1 hora	4
Bosque denso	100 horas	2	Pastos limpios	1 hora	4
Plantación forestal	100 horas	2	Pastos arbolados	1 hora	4
Cultivos transitorios	10 horas	3	Pastos enmalezados	1 hora	4

1.1.3 CALIFICACIÓN POR CARGA DE COMBUSTIBLE

La carga de combustible se relaciona con la densidad de la biomasa de la vegetación presente en cada una de las coberturas. La carga de combustible se clasifica desde las coberturas no combustibles y las áreas urbanas con densidad menos a 1 tonelada por hectárea, hasta las cargas muy altas con más de 100 toneladas por hectárea.

Tabla 3. Calificación por carga de combustible

Cobertura	Carga Combustible	Calificación	Cobertura	Carga Combustible	Calificación
Afloramientos rocosos	No combustibles	1	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	Baja (1-50 ton/ha)	3
Cuerpos de agua artificiales	No combustibles	1	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Baja (1-50 ton/ha)	3
Escombreras	No combustibles	1	Pastos arbolados	Baja (1-50 ton/ha)	3
Explotación de materiales de construcción	No combustibles	1	Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)	3
Ríos	No combustibles	1	Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)	3
Tierras desnudas y degradadas	No combustibles	1	Zonas deportivas	Baja (1-50 ton/ha)	3
Zonas industriales	No combustibles	1	Arbustal denso	Moderada (50-100 ton/ha)	4
Red vial y territorios asociados	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Café	Moderada (50-100 ton/ha)	4
Tejido urbano continuo	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Otros cultivos permanentes arbustivos	Moderada (50-100 ton/ha)	4
Tejido urbano discontinuo	Áreas urbanas (menos de 1 ton/ha)	2	Vegetación secundaria alta	Moderada (50-100 ton/ha)	4
Áreas turísticas	Baja (1-50 ton/ha)	3	Vegetación secundaria baja	Moderada (50-100 ton/ha)	4
Cultivos confinados	Baja (1-50 ton/ha)	3	Bosque denso	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5
Cultivos transitorios	Baja (1-50 ton/ha)	3	Cultivos permanentes arbóreos	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5
Herbazal abierto rocoso	Baja (1-50 ton/ha)	3	Plantación forestal	Muy alta (más de 100 ton/ha)	5

1.2 FACTORES CLIMÁTICOS

También se hace necesario tener en cuenta los factores climáticos que repercuten a la susceptibilidad de la vegetación a contraer incendios forestales, dado que generan variaciones de sus cualidades en cuanto a la humedad de las coberturas. Estos factores son dados por la precipitación media anual medida en milímetros -mm- y la temperatura media anual medida en grados centígrados -°C-.

1.2.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación media anual en el municipio de San Francisco corresponde a los mismos valores de la mayoría presentes en toda la región andina, por lo que se puede clasificar esta con una calificación número 3 que corresponde a la categoría de amenaza alta dado que su clima es mayoritariamente seco con una precipitación anual que oscila en el rango de 1000 a 2000 milímetros.

1.2.2 TEMPERATURA

El municipio de San Francisco cuenta con 3 rangos de temperatura que lo sitúan dentro de las calificaciones 2, 3 y 4 con valores de 8-12, 12-16 y 16-20 grados centígrados respectivamente. La siguiente tabla refleja lo anteriormente descrito:

Tabla 4. Calificación por temperatura media anual

Temperatura media anual (°C)	Categoría de amenaza	Calificación
Muy Frío (6-12)	Moderada	2
Frío (12-18)	Moderada	3
Templado (18-24)	Alta	4

1.3 FACTOR DEL RELIEVE

A partir de la capa vectorial de curvas de nivel, se procede a generar su modelo digital del terreno (DTM) mediante una red de triángulos irregulares (TIN). Consecuentemente, con el DTM se genera un mapa de pendientes tipo ráster con valores porcentuales para posteriormente reclasificarlos de acuerdo con su grado de pendiente. En la siguiente tabla se observa la reclasificación de los valores porcentuales de la pendiente:

Tabla 5. Calificación por porcentaje de pendiente

Porcentaje de pendiente media	Categoría de amenaza	Calificación
0 - 12	Baja	1
12 - 25	Moderada	2
25 - 75	Alta	3
Mayor a 75	Muy Alta	4

1.4 FACTOR HISTÓRICO

Mediante la información de datos estadísticos e históricos sobre ocurrencias de incendios forestales a nivel departamental, se calculan los índices de frecuencia y causalidad de estos fenómenos naturales en cuestión.

1.4.1 ÍNDICE DE FRECUENCIA

Como su nombre lo indica, este índice representa la periodicidad aproximada de ocurrencia de incendios forestales en una región dada -en este caso el departamento de Cundinamarca- y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Cálculo del índice de frecuencia

$$F_i = \frac{1}{a} \sum_1^a n_i$$

Donde:

F_i : Índice de frecuencia de incendios

a : Número de años

n_i : Número de incendios cada año

1.4.2 ÍNDICE DE CAUSALIDAD

Este índice parametriza las causas por las cuales ocurren los incendios forestales dado su número de ocurrencias por dichas causas, que pueden ser factores antropogénicos o naturales.

Ecuación 3. Cálculo del índice de causalidad

$$C_i = \frac{1}{a} \sum_1^a \frac{\sum_1^a n_{ic} C}{n_i}$$

Donde:

C_i : Índice de causalidad de incendios

a : Número de años

n_i : Número de incendios cada año

n_{ic} : Número de incendios por cada causa por cada año

C : Causa específica de cada incendio

Con los índices de frecuencia y causalidad calculados se procede a normalizarlos para después categorizarlos y calificarlos para obtener un mapa de frecuencia-causalidad. De acuerdo con los datos del municipio y la región, para la determinación de la amenaza por frecuencia, una vez obtenida y espacializada la información de los incendios ocurridos por períodos de 10 años, se procede a realizar el análisis de la información para proceder a la clasificación y calificación del factor de frecuencia de acuerdo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Calificación por frecuencia de incendios

Clasificación (Incendios por periodo de 10 años)	Categoría de amenaza	Calificación
	Baja	2
	Moderada	3
	Alta	4

1.5 FACTOR DE ACCESIBILIDAD

A partir de la capa vectorial perteneciente a la infraestructura vial del municipio de San Francisco, se procede a generar un ráster que indique el factor de accesibilidad en caso de la existencia de un incendio forestal. Para ello se toman las vías principales y secundarias y se ejecuta un proceso de zonas de influencias anidadas con el fin de crear distintos buffers con distintos valores a partir de las vías. Estas distancias son 500, 1000, 1500 y 2000 que se categorizarán con amenaza 'Muy Alta', 'Alta', 'Moderada' y 'Baja', asignándoles calificaciones de 5,4,3 y 2 respectivamente.

Tabla 7. Calificación por accesibilidad

Distancia a la vía (metros)	Categoría de amenaza	Calificación
0 - 500	Muy Alta	5
500 - 1000	Alta	4
1000 - 1500	Moderada	3
1500 - 2000	Baja	2
Mayor a 2000	Muy Baja	1

En síntesis, para la obtención del mapa de amenazas por incendios forestales, es necesario previamente construir a partir de herramientas de geoprocésamiento las capas ráster de 'Susceptibilidad de la vegetación', 'Precipitación', 'Temperatura', 'Relieve', 'Frecuencia' y 'Accesibilidad'. Una vez obtenidos dichos ráster, y mediante álgebra de mapas, se logra obtener la capa ráster final de amenaza por incendios forestales y hacer su respectivo análisis. El siguiente diagrama resume lo anteriormente descrito:

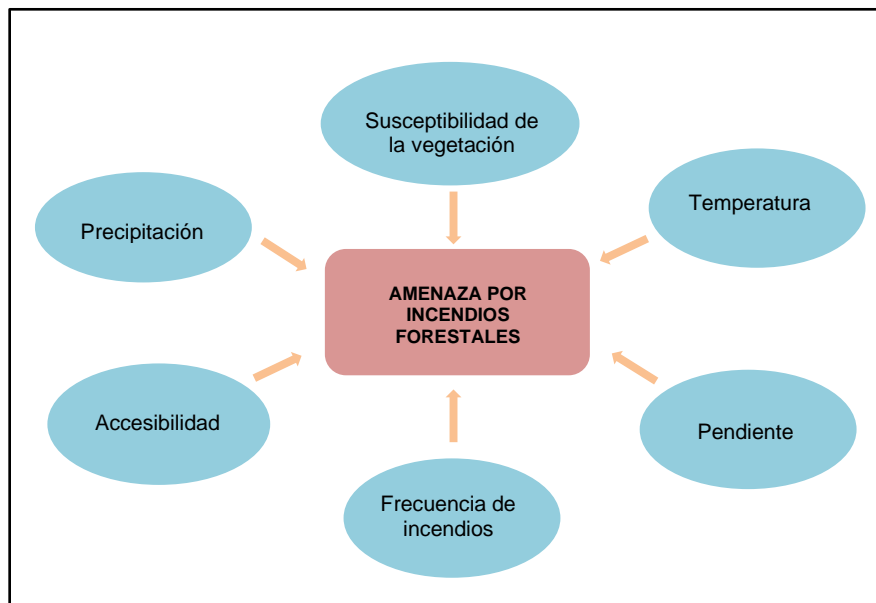


Figura 1. Insumos para la obtención del mapa final

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir del geoprocesamiento de las diferentes capas ráster y siguiendo el flujo de trabajo anteriormente explicado, se obtiene finalmente el producto final que refleja las zonas de bajo, moderado y alto riesgo de sufrir incendios forestales en el municipio de San Francisco.

Para llegar a este resultado se realiza una última operación entre las capas ráster anteriormente obtenidas aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Cálculo de la amenaza total por incendios forestales

$$AMENAZA = \text{Susceptibilidad (0,17)} + \text{Precipitación (0,25)} + \text{Temperatura (0,25)} \\ + \text{Pendiente (0,03)} + \text{Frecuencia (0,05)} + \text{Accesibilidad (0,03)}$$

Como se muestra en la ecuación anterior, el ráster que muestra la amenaza por incendios forestales es el resultado de una suma ponderada de las capas obtenidas en el apartado anterior, donde la precipitación y la temperatura son las capas que aportan mayor peso al resultado final del mapa.

En ese orden de ideas, los primeros resultados que podrían ser tenidos en cuenta para futuros proyectos relacionados con la gestión del riesgo del municipio o incluso en el desarrollo de un eventual Plan de Ordenamiento Territorial, son la susceptibilidad de la vegetación, la pendiente, la frecuencia de los eventos de incendios e incluso la accesibilidad de las vías. Las demás capas ráster restantes como la precipitación y la temperatura no arrojan grandes aportaciones en los proyectos y estudios anteriormente mencionados dado que están hechos a partir de información que se puede encontrar de manera rápida y sencilla en páginas web institucionales como el IDEAM y otras, a pesar de que son las más determinantes en el resultado final de esta investigación.

Como primer resultado auxiliar se presenta el mapa de susceptibilidad de la vegetación clasificado en cinco categorías como se menciona en el apartado anterior y que representa las zonas más propensas a contraer incendios por combustión de acuerdo con su vegetación.

En la figura 2 se aprecia el mapa de susceptibilidad de la vegetación y dada la densidad de vegetación presente en la zona rural de San Francisco, así como en muchos de los otros municipios del departamento de Cundinamarca, los valores resultantes para la susceptibilidad de la vegetación suelen ser altos como se observa en el mapa donde la mayor parte del área rural presenta amenaza moderada, alta y muy alta exceptuando como es de esperarse la cabecera municipal donde la vegetación es prácticamente inexistente.

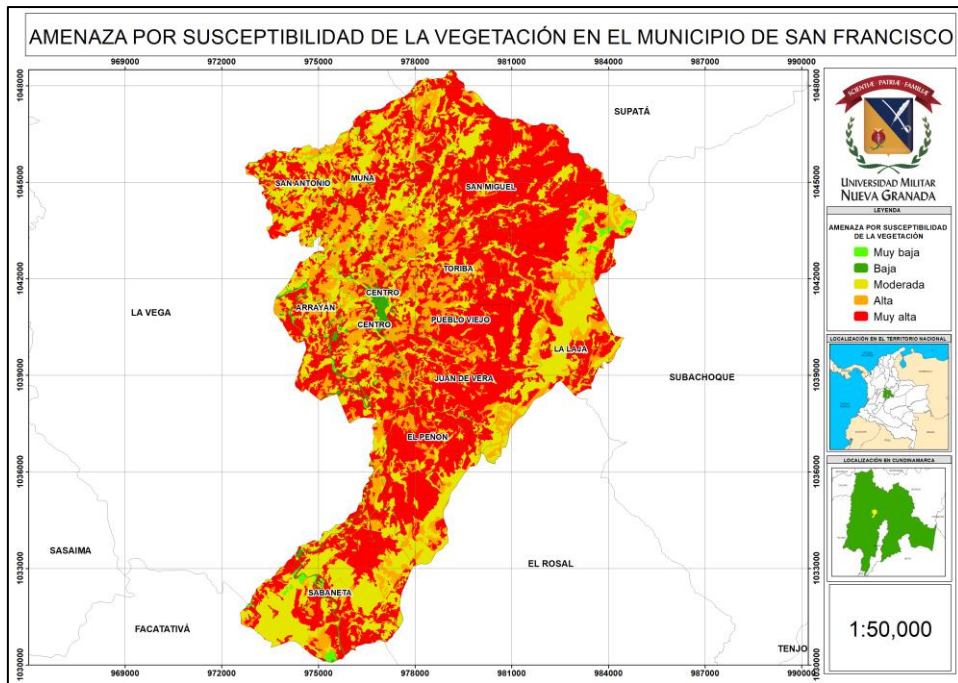


Figura 2. Mapa de nivel de amenaza por susceptibilidad de la vegetación

En la figura 3 se presenta el mapa resultante de distintos anillos de zonas de influencia erigidos a partir de las vías principales y secundarias del municipio y en él se aprecian las áreas amenazadas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre las vías. Debido a la distribución de las vías principales y secundarias pertenecientes al municipio, se aprecia que la amenaza por accesibilidad en la mayor parte del territorio es muy baja.

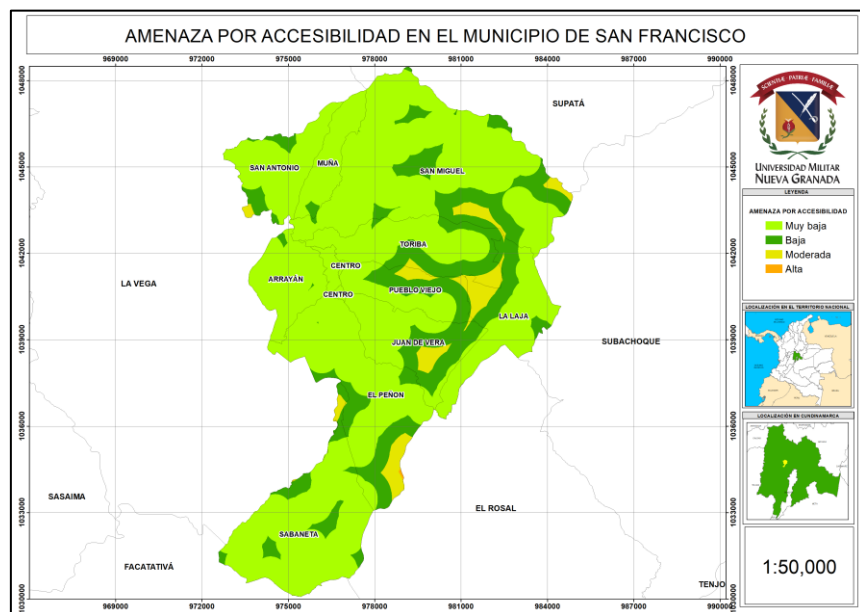


Figura 3. Mapa de nivel de amenaza por accesibilidad a las vías

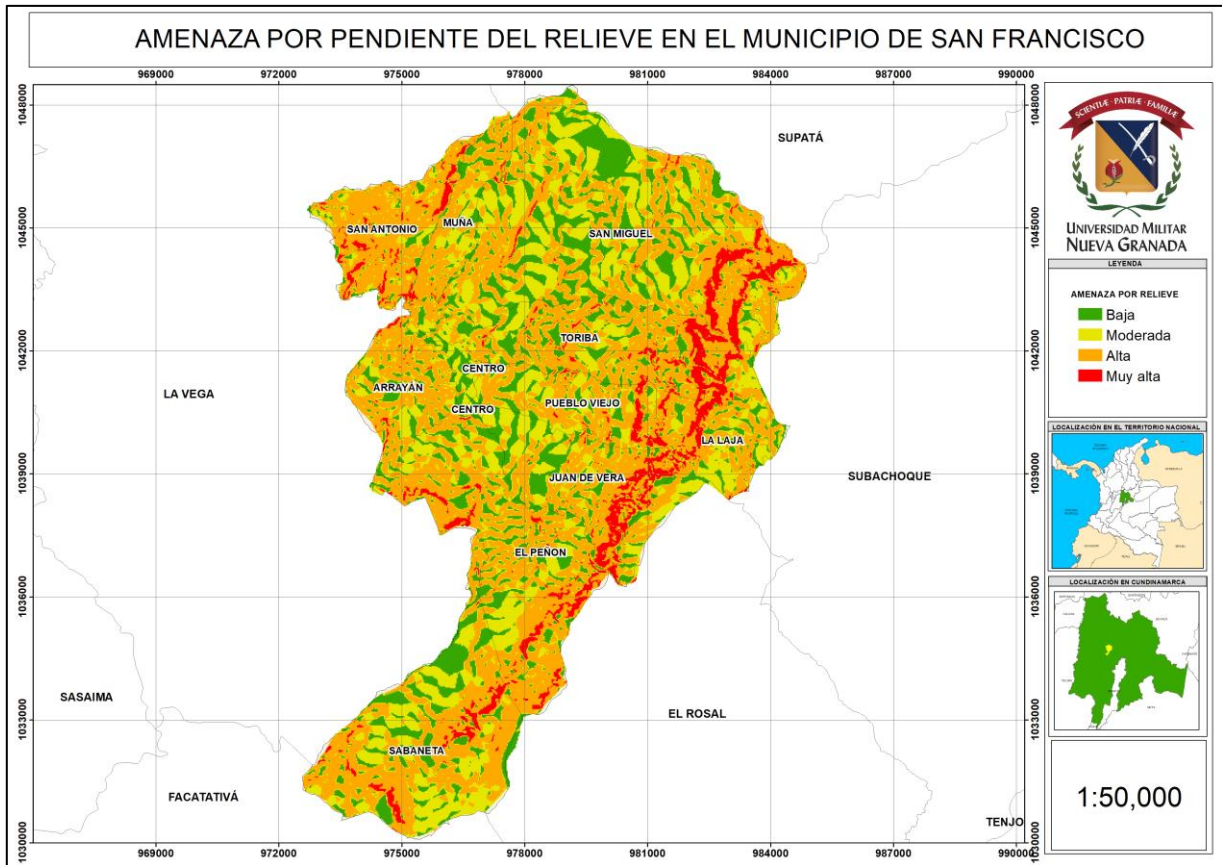


Figura 4. Mapa de nivel de amenaza por porcentaje de pendiente

En la figura 4 se presenta el mapa más relevante después del mapa de amenaza por incendios forestales dado que puede tener diversos usos en el ámbito catastral, de planeación rural, de gestión del riesgo, de construcción, de meteorología, entre otros. Como se detalló en el apartado metodológico, esta capa ráster fue elaborada a partir de un modelo digital del terreno que no posee una gran resolución pero que es suficiente para detallar ciertos aspectos del relieve dentro del municipio. En ese orden de ideas, el grado de pendiente del terreno influye en la propagación de los incendios forestales y es directamente proporcional al nivel de amenaza por dicha causalidad; en el mapa se aprecia que la mayor parte del territorio de San Francisco presenta una amenaza alta debido a su grado de pendiente que oscila entre el 25 y 75 por ciento, y las zonas pobladas y urbanas naturalmente presentan una amenaza baja y moderada debido a su pendiente menor al 25 por ciento. Por otra parte, existe una cadena montañosa que atraviesa al municipio de sur a norte muy cerca al límite político-administrativo oriental, que presenta unas pendientes muy escarpadas mayores al 75 por ciento, donde evidentemente su amenaza es de grado muy alto.

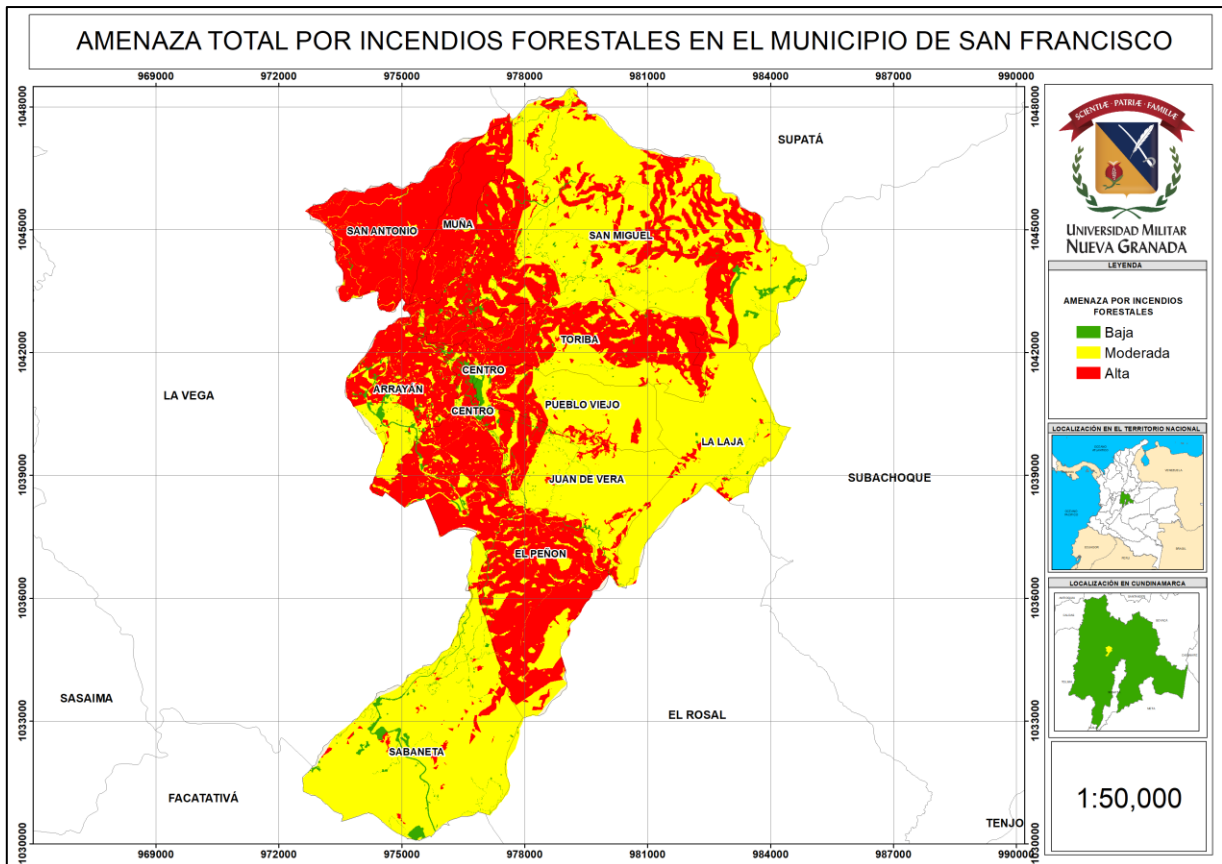


Figura 5. Mapa de nivel de amenaza total por incendios forestales

La figura 5 muestra finalmente el producto final del resultado para esta investigación. En el mapa se pueden apreciar clasificadas en tres categorías las zonas del área rural del municipio, que presentan menor o mayor riesgo a contraer incendios forestales teniendo en cuenta factores como la precipitación, la temperatura, la accesibilidad a las vías principales y secundarias, la pendiente del relieve y la susceptibilidad de la vegetación para contraer fuego.

En ese orden de ideas, lo que se aprecia en el mapa es la imposición de los niveles de amenaza moderados y altos en todo el territorio rural del municipio a excepción de las zonas urbanas y las fuentes hídricas, sin embargo esto no es extraordinario y era de esperarse dado que la parte rural de muchos de los municipios del país presentan este comportamiento debido a la gran existencia de bosques densos en sus inmediaciones y es un factor clave a tener en cuenta a la hora de realizar proyectos de vivienda, construcción o infraestructura en zonas donde la amenaza por incendios forestales es alta.

Como consecuencia se tiene que las veredas de San Antonio, Muña, Arrayán, El Peñón y parte de Toriba se encuentran en amenaza alta por incendios forestales y las autoridades de ordenamiento territorial y gestión del riesgo deben tener en cuenta dichas localizaciones para ejercer control y especial cuidado hacia la población rural que allí se encuentre actualmente habitando. Por otro lado, las veredas restantes se

encuentran dentro de zonas de amenaza moderada por incendios forestales donde probablemente se puedan realizar proyectos de renovación de infraestructura y construcción de esta dado que estas localizaciones presentan menos riesgo que sus contrapartes ubicadas en amenaza alta. En todo caso este resultado puede ser de gran ayuda a la hora de tomar decisiones en cuanto a la implementación de un nuevo plan de ordenamiento territorial para el municipio de San Francisco y por supuesto fortalecer la gestión del riesgo no dejando de lado otros fenómenos naturales de igual importancia como los movimientos en masa, las inundaciones y las avenidas torrenciales, pero eso ya es tema de otra investigación.

3. CONCLUSIONES

- El municipio de San Francisco en su suelo rural posee grandes extensiones de área que se encuentran en nivel alto de amenaza por incendios forestales, por lo que la alcaldía municipal debe tener en cuenta estos estudios y demás fenómenos naturales en la construcción de un próximo plan de ordenamiento territorial que le brinde garantías de subsistencia a los pobladores que habitan las veredas con mayor riesgo de sufrir afectaciones ante eventuales ocurrencias de estos siniestros naturales.
- A través del desarrollo del mapa de amenaza por incendios forestales, se obtuvieron en el proceso otras capas ráster intermedias que también pueden ser de utilidad en otras áreas de investigación y del conocimiento para tratar temas de catastro, climatología, geología, infraestructura e incluso gestión del riesgo.
- Como San Francisco existen muchos municipios en todo el territorio nacional que no poseen estudios similares en cuanto a la investigación para la prevención de fenómenos naturales, por lo que este tipo de análisis se deben generalizar en los próximos años en el marco de la revisión y ajustes de los planes de ordenamiento territorial efectuados por cada una de las alcaldías del país y así mejorar la calidad de vida de sus habitantes.
- La generación de cartografía temática debe ser uno de los pilares para tener en cuenta en la transición y toma de decisiones que impliquen nuevos asentamientos y reubicación de los habitantes del suelo rural y urbano de un municipio, en aras de velar por la seguridad de ellos y los proyectos de infraestructura que allí se planeen realizar.
- El municipio de San Francisco no cuenta con una gran diversidad de vegetación, sin embargo, esta puede repercutir en la conflagración y expansión de unos eventuales incendios forestales teniendo en cuenta que su temperatura corresponde a un clima seco tropical que puede generar complicaciones en caso de que ocurra un fenómeno de este tipo. Estas características son típicas de las zonas existentes en la región andina colombiana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAR Cundinamarca. (2016). *Elaboración de estudios básicos de zonificación de amenazas, vulnerabilidades y riesgos*. Bogotá.
- IDEAM. (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal*. Bogotá.
- IDEAM. (2019). *ZONIFICACIÓN DEL RIESGO A INCENDIOS*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/zonificacion-del-riesgo-a-incendios>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de Meteorología, Hidrología y estudios Ambientales (IDEAM), Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). (2009). *Desarrollo del Mapa Nacional de Zonificación de Riesgo a Incendios de la Cobertura Vegetal, a partir de información temática e información complementaria y el aplicativo informático para automatizar las posteriores actualizaciones*. Bogotá.
- Lara, Á. d., Toro, F. H., Pascual, D. A., Alonso, F. G., Rivas, M. M., Caicedo, D. J., & Rocha, G. E. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Recuperado el 21 de 11 de 2020, de <http://red.uao.edu.co:8080/jspui/handle/10614/9>
- Páramo, G. E. (2007). Análisis, Diagnóstico y Elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios.