

**“QFLAME”: PLUGIN DE QGIS PARA LA GENERACIÓN DE ÁREAS
SUSCEPTIBLES A INCENDIOS FORESTALES BAJO LA METODOLOGÍA
DEFINIDA POR EL IDEAM**

Fabián Alonso Hernández Ramos

Ángela María Rodríguez Martín

**Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para
optar por el título de especialista en Sistemas de Información Geográfica**

Director

Msc. Salomón Einstein Ramírez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá D.C., Colombia

Mayo 2018

Contenido

1. Introducción	4
2. Problema	6
3. Justificación	8
4. Alcance	10
5. Objetivos	11
5.1. Objetivo General	11
5.2. Objetivos Específicos	11
6. Estado del arte	12
6.1. Antecedentes	12
6.2. Marco Teórico	14
7. Metodología	16
8. Resultados	18
8.1. Fase de Análisis	18
8.2. Fase de diseño	19
8.2.1. Diagrama de clases	19
8.2.2. Diagrama de secuencias	19
8.2.3. Diagrama de componentes	20
8.2.4. Diagrama de despliegue	21
8.2.5. Diagrama de vista de alto nivel	21
8.3. Fase de Programación o Implementación	22

	2
8.4. Fase de prueba y evaluación del sistema	25
9. Conclusiones	31
10. Referencias	33

Lista de Figuras

Figura 1 Metodología ágil XP definida para el proyecto.....	16
Figura 2 Diagrama de casos de uso para Plugin QFlame	18
Figura 3 Diagrama de clases QFlame	19
Figura 4 Diagrama de secuencias Plugin QFlame	20
Figura 5 Diagrama de componentes Plugin QFlame	20
Figura 6 Diagrama de despliegue Plugin QFlame	21
Figura 7 Diagrama de vista de alto nivel Plugin QFlame	22
Figura 8 Sentencias para la InitGUI.....	23
Figura 9 Sentencias para definir el raster calculator	24
Figura 10 Sentencias para la definición del buffer	24
Figura 11 Función final de ejecución del plugin QFlame.....	25
Figura 12 Datos requeridos por el Plugin QFlame	25
Figura 13 Interfaz de ejecución del Plugin QFlame	26
Figura 14 Capas de información generadas para el municipio de Albán, Nariño	27
Figura 15 Mapa de áreas susceptibles a incendios forestales en el municipio de Albán, Nariño	28

Lista de tabla

Tabla 1 Rangos para las áreas susceptibles a incendios forestales	28
Tabla 2 Evaluación y calificaciones del Plugin QFLAME.....	29

1. Introducción

Las condiciones naturales y fenómenos climáticos que presenta un país como Colombia, lo hacen susceptible y vulnerable a presentar diferentes procesos asociados a desastres naturales que en la mayoría de ocasiones generan un impacto en la población civil. Uno de los desastres naturales más comunes y con registro por parte de las autoridades ambientales son los incendios forestales, que desde la planificación territorial es pertinente definir las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de este fenómeno para la oportuna toma de decisiones con el objetivo de generar acciones de prevención.

El presente trabajo tiene como propósito ofrecer una herramienta informática (PLUGIN), la cual permita la zonificación de áreas susceptibles a incendios forestales, teniendo como base la metodología definida por el IDEAM (2011); la cual es desarrollada en el software libre Quantum GIS (QGIS), para que cualquier usuario ya sea de carácter público o privado, genere los respectivos productos cartográficos.

Para el desarrollo e implementación del Plugin, se usa la metodología de programación ágil XP (Extreme Programming) que permite planificar, diseñar, codificar o modificar procesos para obtener el producto final correspondiente. Se define cuatro fases del desarrollo metodológico, que presenta un análisis inicial, una fase de diseño, una fase programación y una fase de prueba y evaluación de la herramienta.

Los resultados generados, se obtienen todos los elementos intermedios como el mapa susceptibilidad de la vegetación por carga de combustible, el mapa de amenaza por temperatura precipitación, pendientes y de accesibilidad que son necesarios para la obtención del mapa final

de incendios forestales, y que presenta la categorización correspondiente, definida en la metodología desarrollada por el IDEAM (2011).

Dentro del desarrollo de la implementación se presenta una estructura clara en la cual se ejecuta el proyecto, y permite la correcta interacción del usuario con la interfaz desarrollada. Por otro lado, se identifica que si bien el resultado generado cumple con los requisitos de la metodología definida por el IDEAM, este puede presentar proceso de mejora en la cual se puedan incluir variables como el viento, actividades antrópicas, entre otros.

2. Problema

La inclusión del componente de Gestión del Riesgo dentro de las diferentes herramientas de planificación territorial como lo son los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas - POMCAS y Planes de Ordenamiento Territorial – POTs, tiene como objetivo la definición de áreas susceptibles a diferentes amenazas naturales; en donde se resalta a los incendios forestales como los eventos que generan un impacto del 0.04% de pérdida de cobertura natural a nivel nacional (IDEAM, 2016).

Para la generación cartográfica del mapa de incendios forestales se implementa la metodología definida por el (IDEAM 2011), la cual define una secuencia de pasos a seguir, teniendo en cuenta, que permiten la generación de diferentes insumos cartográficos los factores propios del terreno (Coberturas Vegetales, Factores Climáticos, Temperatura y Precipitación, Relieve y Accesibilidad) los cuales van generando diferentes insumos cartográficos que tienen como finalidad ser el insumo necesario para la generación del mapa final de incendios forestales por medio de álgebra de mapas.

La obtención de dichos mapas necesitan diferentes validaciones y especificaciones propias de la elaboración paso a paso de cada uno de los insumos, presentando elementos procedimentales largos y que se podrían optimizar, por ejemplo la definición del tipo de combustible predominante por tipo de cobertura, presenta una clasificación por vegetación presente, una categorización y una calificación que a su vez presenta operaciones matemáticas y así sucesivamente para cada uno de los 8 pasos necesarios para la generación dicho mapa.

Lo anteriormente mencionado, afecta principalmente a todos los equipos técnicos encargados del componente de gestión del riesgo que pertenezcan a las diferentes consultoras o empresas

privadas y que son los entes ejecutantes de los diferentes procesos de planificación territorial; otros actores que pueden verse afectados son los entes gubernamentales, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Interventorías de los proyectos.

La afectación principal se da en términos de tiempo de ejecución para la generación del mapa de incendios forestales por parte del equipo técnico, el cual tiene como responsabilidad el desarrollo del componente de gestión del riesgo para los proyectos de planificación territorial; así mismo se ven expuestas, las diferentes entidades que supervisan, revisan y aprueban los POMCAS como las Corporaciones Autónomas Regionales y sus correspondientes interventorías las cuales presentan en la mayoría de casos dificultades técnicas a la hora de revisar y de dar el visto bueno al mapa correspondiente.

Todos los retrasos a su vez generan un retroceso en cada uno de los diferentes procesos de zonificación posteriores, puesto que el mapa de incendios forestales es un insumo clave en los momentos para definir estrategias encaminadas a evitar y proteger las coberturas vegetales asociadas a esta amenaza natural.

Para optimizar este proceso, se propone generar una herramienta que permita minimizar en términos de tiempo, la obtención del mapa de incendios forestales y sus respectivos insumos requeridos, implementando toda la información necesaria definida por la metodología, en donde se logren ejecutar tanto el álgebra de mapas correspondiente con las fórmulas matemáticas para la generación del mapa al pulsar solamente un botón.

3. Justificación

Esta herramienta tiene como principal objetivo la automatización de todos los pasos necesarios para generación del mapa final de incendios forestales, es decir, que toda la metodología en la que se obtienen alrededor de siete (7) mapas que son insumo para obtener la información final por medio del algebra de mapeo, se podrá sintetizar a través de un algoritmo interno, de tal manera que optimice su proceso de obtención.

Los principales beneficiarios de esta herramienta pueden venir tanto del sector público como del sector privado, puesto que la ejecución de todos los proyectos de planificación territorial generalmente se licita por parte de contratistas que cumplen con los requisitos necesarios para el desarrollo del proyecto y son revisados por las diferentes entidades

Para el sector privado, todas las consultoras o contratistas deben tener un equipo técnico que genere toda la información correspondiente al tema de gestión del riesgo, para el tema específico de incendios forestales, dentro de la experiencia técnica se tiene un registro aproximado de que la generación de dicho mapa puede tardar dos (2) semanas siempre y cuando se cuente con toda la información correspondiente.

Por tal motivo, sintetizar toda la metodología en una herramienta permite reducir en términos tiempo la generación el producto y facilita el análisis posterior de todo lo que conlleva tanto en la fase de diagnóstico como en la fase de formulación de los diferentes proyectos en las estrategias de mitigación del riesgo.

Por otro lado, otro actor que se beneficia del desarrollo de la herramienta son las interventorías de los proyectos, las cuales, para poder cumplir con su objetivo en la revisión y aprobación

parcial de todo el trabajo correspondiente para la temática de incendios forestales, tendrán una herramienta que les permite evaluar de manera eficaz si el producto entregado es acorde a los parámetros solicitados y tomar la decisión de aceptar o no lo entregado por el contratista.

Para el caso del sector público se presentan diferentes actores de características gubernamentales como gobernaciones y alcaldías en la aprobación de los POT, y autoridades ambientales como las diferentes corporaciones autónomas regionales en el país en la aprobación de los POMCAS. Dentro de las funciones de los actores del sector público se contemplan la revisión, actualización, y toma de decisiones frente a un evento como los incendios forestales.

En la gran mayoría de ocasiones todas las actividades descritas anteriormente son ejecutadas por funcionarios y/o personal que no presentan los conocimientos técnicos mínimos correspondientes para entender el fenómeno natural, lo cual puede generar toma de decisiones que pueden ser erróneas; al aplicar esta herramienta se tendrá una aproximación a la distribución del fenómeno dentro del área de estudio ya sea de carácter municipal para los POT, o con una unidad de ordenación más amplia como lo es la cuenca hidrográfica, con el fin de generar diferentes acciones con el objetivo de prevenir y mitigar todas las posibles consecuencias que se puedan generar por dicho fenómeno al momento que se produzca.

4. Alcance

A partir de archivos de tipo vectoriales en formato Shapefile (Limite del área de estudio, Coberturas de la Tierra y vías) y de archivos de tipo raster (Temperatura media anual, Precipitación media anual, Modelo Digital de Elevación (DEM), los cuales deben ser cargados por el usuario en QGIS, el Plugin ejecuta un análisis espacial para la definición de las áreas susceptibles a incendios forestales, en base a la metodología definida por el IDEAM (2011).

Para la generación del mapa de incendios forestales con el uso de QFLAME, la capa de coberturas debe presentar la información asociada a la metodología Corine Land Cover, las vías presentar un buffer hasta el cuarto nivel de información definido por el IGAC, y demás capas insumo en formatos vectorial y raster con el mismo sistema de coordenadas geográficas.

El resultado final del proceso es la generación del mapa, el cual se dispone en formato raster, para que el usuario observe los valores correspondientes a cada una de las áreas generadas por su respectiva calificación y clasificación según rangos. En adición, se puede tener acceso a cada uno de los mapas que evalúan la trazabilidad del producto final, en la carpeta de destino seleccionada para guardar los archivos ejecutados por QFLAME en QGIS.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Implementar una herramienta que permita la generación de información asociada a los incendios forestales con el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal – Escala 1:100.000 definida por el IDEAM.

5.2. Objetivos Específicos

- Determinar requerimientos funcionales y no funcionales para el desarrollo de la herramienta.
- Especificar el diseño necesario que cumpla con los requerimientos de la herramienta.
- Implementar la herramienta que satisfaga los requerimientos y el diseño propuesto.

6. Estado del arte

6.1. Antecedentes

Los avances de la academia y la tecnología, hacen de los SIG una herramienta idónea para el aporte de conocimientos sobre los fenómenos espaciales actuales y su innovación en nuevas aplicaciones para la obtención de información rápida y ágil sobre la ocurrencia de fenómenos de tan alta afectación como son los incendios. El conocimiento anticipado que pueda tenerse de este, puede incurrir en una acertada toma de decisiones para mitigar la alta probabilidad de ocurrencia que puede presentar algún territorio en específico y la manera preventiva en la que se puede contrarrestar acciones que llegarían a afectar poblaciones, ecosistemas y ambiente en general.

España presenta un gran avance tecnológico que alcanza el desarrollo de aplicaciones móviles gratuitas; dentro de las más importantes se presenta “Incendios CyL” desarrollada por el Centro de Servicios y Promoción Forestal, Cesefor (2013), como una versión beta para la Región de Soria, en la cual toma elementos meteorológicos, áreas recreativas susceptibles al fuego, alertas generadas, reportes diarios, prohibiciones y recomendaciones, con esto generan una información general de aquellas zonas que presenten alguna susceptibilidad a los incendios forestales.

Australia presenta unas condiciones críticas que propagan los incendios forestales y que son de gran intensidad y afectan a las comunidades locales, por tal motivo el gobierno desarrolló una aplicación denominada “Bushfire Assessment”, la cual tiene como objetivo evaluar el impacto de los incendios forestales a la comunidad y que permitan mitigar los impactos generados por medio de procesos de planificación y prevención.

Finlandia presenta la aplicación “Wildfire Map” creada por la empresa Animated Oak Entertainment que permite visualizar los incendios forestales en un periodo de las últimas 48 horas en todo el mundo tomando información de los satélites NASA Terra y Aqua identificándolo mediante puntos; sin embargo no ofrece información detallada sobre los incendios y el uso de esta aplicación está enfocada a mostrar una visión global y no para la toma de decisiones.

La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), dentro de la información satelital que registra presenta un módulo denominado Información de Incendios para el Sistema de Gestión de Recursos (FIRMS), la cual muestra datos en tiempo real sobre incendios forestales alrededor del mundo, la cual puede ser visualizada a través de un geovisor denominado “Global Fire Maps” y se puede visualizar históricos de los últimos siete (7) días y realizar la descarga de información ya sea en formato Shapefile, KML, TXT, y WMS.

Colombia actualmente no se cuenta con un aplicativo informático que ayude a determinar áreas susceptibles a incendios forestales, sin embargo, el IDEAM presenta información disponible para la descarga al público relacionada con la susceptibilidad de la vegetación a los incendios forestales a escala 1:500.000 y que puede ser visualizada y descarga en el visor desarrollado por el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Además, ofrece reportes sobre la cantidad incendios ocurridos sobre estas coberturas de tipo anual y segmentado (solo para 2016 el departamento con mayor número de incendios fue Cundinamarca con 800, seguido de Huila con 200; con una quema promedio nacional de 42.000 has de Bosques). El uso de tecnologías para el análisis del territorio es inminente.

6.2.Marco Teórico

Dentro del marco legal definido para la gestión del riesgo en Colombia, se presenta la Ley 1523 de 2012, el cual es un instrumento normativo que brinda elementos jurídicos base para la gestión del riesgo de los diferentes desastres en el país. Así mismo, clasifica los incendios forestales como un riesgo ecológico que genera consecuencias en temas sociales, económicos y ambientales.

Los Incendios forestales se definen como fuego que se extiende sin control, cuyo combustible principal es la vegetación viva o muerta (MAVDT, 2010). Las causas por las cuales se propagan los incendios forestales en Colombia principalmente son de características antrópicas, evidenciadas en el uso y manejo irresponsable del fuego en zonas con presencias de bosques, pastos y cultivos, y que, al presentar una suma de condiciones como el viento, genera consecuencias negativas evidenciadas en la pérdida de cobertura, pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo, procesos de desertización y desertificación, entre otros (MADS, 2012).

La amenaza por incendios forestales se define como el peligro latente que representa la posible manifestación de un incendio de la cobertura vegetal, ya sea de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un área determinada y que afecta negativamente a las personas, la producción agropecuaria, la infraestructura y los bienes y servicios ecosistémicos (Páramo, 2007).

El IDEAM, tiene como función realizar el seguimiento y monitoreo a todas las actividades asociadas con los incendios forestales, en donde han implementado diferentes modelos conceptuales, que ayudado con las herramientas informáticas han generado análisis de variables en tiempo de real con una mayor cobertura espacial y temporal que permita generar

la emisión de alerta temprana ante cualquier posible evento que se pueda detectar (IDEAM, 2011).

El protocolo definido por el IDEAM tiene en cuenta diferentes elementos importantes a la hora de delimitar la amenaza por incendios forestales inicialmente se debe determinar la susceptibilidad de la cobertura a los incendios forestales relacionando el tipo de combustible, la duración de combustible y la carga del combustible.

Se habla de tipo de combustible cuando se asocia la capacidad ignífuga de las especies vegetales con el hábito de las mismas presentes dentro las coberturas (árbol, arbustos, pastos entre otros) (Alcaraz, 2013). La duración del combustible está asociado directamente con la capacidad de estar en el proceso ignífugo en términos de tiempo; la carga de combustibles es la expresión de la biomasa en toneladas/hectárea de las coberturas que se están evaluando.

El clima también incide dentro de los incendios forestales, puesto que son elementos externos que influyen en la intensidad y duración de los mismos; el elemento asociado al terreno como las pendientes influyen en la propagación del fenómeno; también es importante tener en cuenta el registro histórico de los eventos dentro de un área de estudio (IDEAM, 2011).

7. Metodología

Teniendo en cuenta la funcionalidad de la herramienta, la metodología utilizada para la solución del problema, tiene como base el desarrollo de una metodología ágil XP (Ver Figura 1)

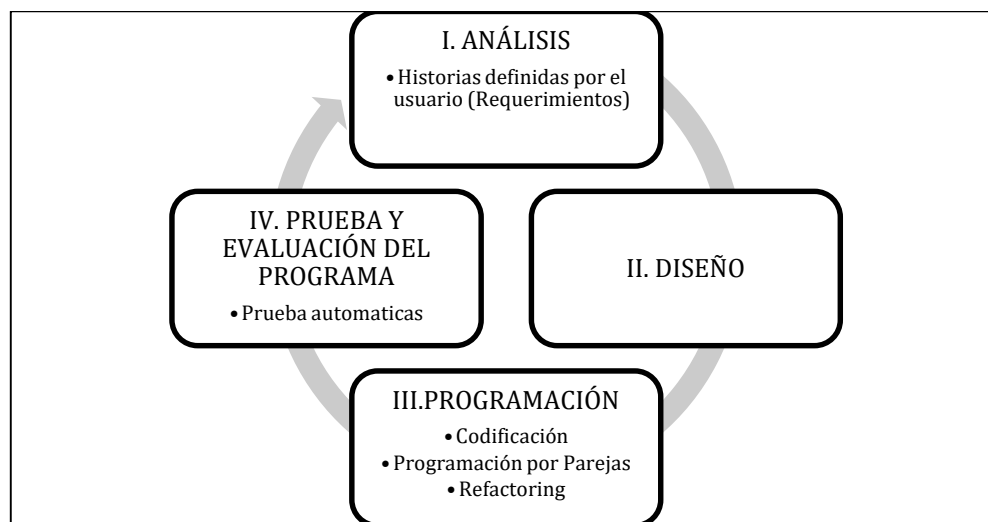


Figura 1 Metodología ágil XP definida para el proyecto

Fuente: elaboración propia

La selección de la metodología de trabajo ágil XP implica un tiempo corto para el desarrollo de la herramienta, aplicando la estrategia la refactorización la cual permite la ejecución de todas las fases definidas de manera ágil, y permitiendo que el producto cumpla con los elementos de funcionalidad requeridos.

La primera fase correspondiente al análisis, busca definir todos esos elementos necesarios a resolver con la herramienta, por medio de la identificación de todos los requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales en los cuales se desarrolla y ejecuta el proyecto.

La fase de diseño se tiene en cuenta todos esos elementos que se desarrollan, las estructuras, relaciones, funciones y/u otras características asociadas que permita cumplir con cada uno de los requerimientos definidos en la fase anterior.

En la fase de programación la codificación tiene como línea base un modelo orientado a reutilización de códigos adaptado al objetivo del proyecto, que permita desarrollar y potenciar la herramienta propuesta; así mismo la codificación se presenta de manera simple y que a su vez, permite al administrador de la herramienta hacer modificaciones o incluir anexos de ser necesario.

La fase de prueba del software busca validar la herramienta por medio de la satisfacción de los requerimientos definidos anteriormente, si en el proceso se encuentran errores de la fase anterior, se reportan las respectivas correcciones y/o en su defecto generar procesos que permitan mejorar la herramienta cumpliendo con las características solicitadas.

La fase de evaluación del sistema, el usuario que ejecute el Plugin, debe verificar que el producto solicitado cumpla con todas las especificaciones deseadas y que a su vez genere los resultados esperados para los cuales se desarrolló la herramienta.

8. Resultados

8.1. Fase de Análisis

Para la fase de análisis, se realizó la identificación de requerimientos encontrando un caso de uso denominado CU-QF-01, representado en un diagrama de casos de uso (Ver Figura 2) el cual muestra la interacción, representando la interacción entre el usuario, el Plugin (QFlame) y el sistema.

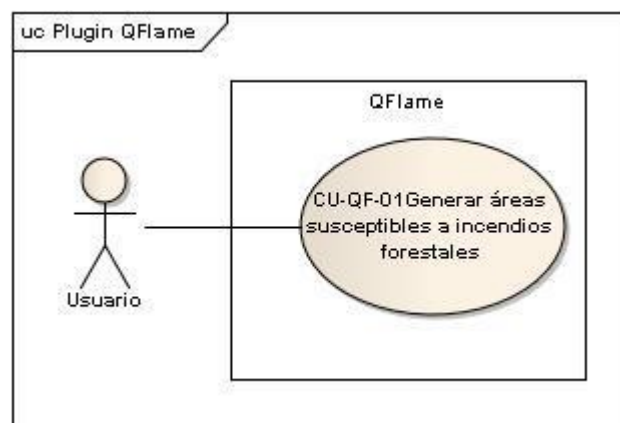


Figura 2 Diagrama de casos de uso para Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

En la interfaz de usuario del Plugin, se realiza la selección de las capas insumo por cada uno de los botones, se especifican cada una de las ponderaciones respectivas y se direcciona a la carpeta a contener las capas de salidas resultantes. Una vez ordenado el procesamiento con el botón “ejecutar”, QFlame genera los algoritmos del cálculo y consolida la información espacial en las capas respectivas y retorna su visualización con el mapa zonificado en formato raster.

Para el correcto funcionamiento de QFlame, todos los campos deben estar diligenciados así como un cargue correcto de los shapes de la zona de estudio en QGIS, de lo contrario la aplicación mostrará mensaje de error, y no cumplirá con el objeto del mismo. Como parte de los requerimientos no funcionales, se tiene en cuenta para el requerimiento de usabilidad que QFlame es una herramienta intuitiva, al mostrar la información de manera dinámica, con una

interfaz gráfica entendible, sencilla y manipulable por parte del usuario pues no genera confusión al momento de seleccionar los botones con sus respectivas entradas de información.

8.2.Fase de diseño

Para la fase de diseño se tiene en cuenta el diagrama de clases, el de secuencia, el de componentes, el de despliegue y el de arquitectura de vista de alto nivel

8.2.1. Diagrama de clases

La Figura 3, muestra el diagrama de clases correspondiente a QFlame. Se observa que la interacción entre la interfaz y el algoritmo lógico del Plugin, los cuales están supeditados a una serie de operaciones que pueden ser visualizados o no dentro de la estructura del QFlame.

Se requiere información sobre la carga de combustible por cobertura, el mapa de susceptibilidad a incendios forestales por coberturas, el tiempo de duración de combustión del incendio forestal por cobertura y la calificación asociada a información de pendiente, precipitación y temperatura respectivamente.

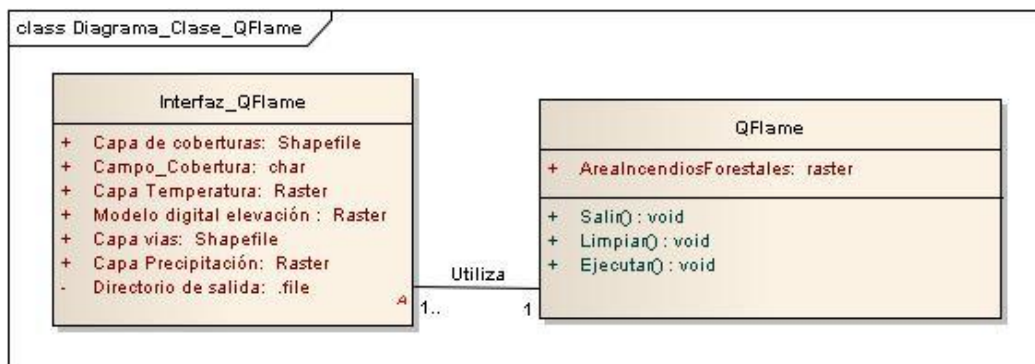


Figura 3 Diagrama de clases QFlame

Fuente: elaboración propia

8.2.2. Diagrama de secuencias

La Figura 4, muestra los elementos y mensajes asociados a la ejecución y funcionamiento del Plugin QFlame. Inicialmente, el usuario debe ejecutar la interfaz correspondiente, seguidamente se visualiza un mensaje en donde el usuario debe ingresar toda la información correspondiente, posteriormente desde el funcionamiento interno de QFlame, se ejecuta todos

los procesos de validación, clasificación y zonificación asociados, para finalmente arrojar el resultado final del proceso.

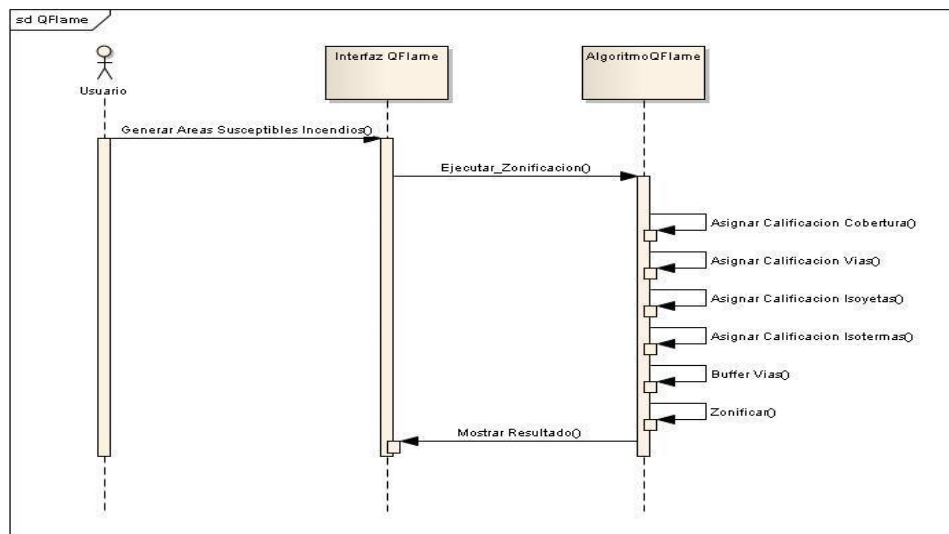


Figura 4 Diagrama de secuencias Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

8.2.3. Diagrama de componentes

La Figura 5, muestra el Plugin QFlame como el componente responsable de generar las áreas susceptibles a incendios forestales, e incluye el paso a paso en la carga, procesamiento y visualización de la información.

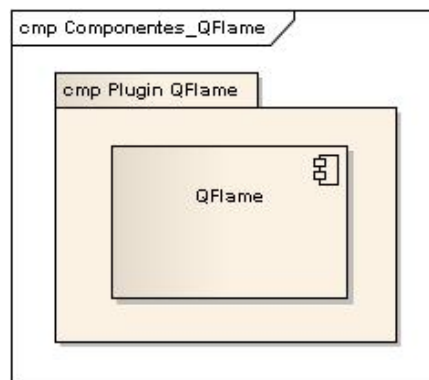


Figura 5 Diagrama de componentes Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

8.2.4. Diagrama de despliegue

La Figura 6 muestra el diagrama de despliegue, el cual inicia con el sistema operativo en donde se encuentre el software de desarrollo, para este caso QGIS, el cual interactúa con el Plugin QFlame a través del paquete de programación PyQGIS y así mismo permite la visualización en la interfaz de QGIS.

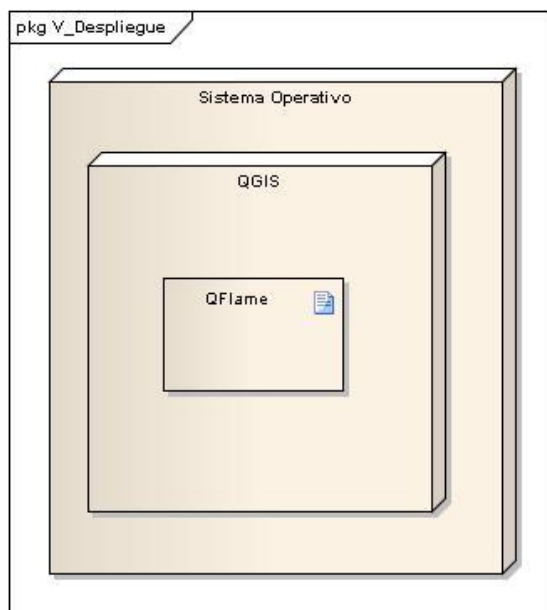


Figura 6 Diagrama de despliegue Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

8.2.5. Diagrama de vista de alto nivel

La Figura 7 permite una visualización más explícita de cómo está compuesta la arquitectura del software. QFlame es una herramienta Plugin que aporta funciones nuevas y específicas a un software definido, y es ejecutado gracias a la interacción de un interfaz programado. QFlame se desarrolló en el software libre QGIS y su ejecución se realiza una vez esté alojado dentro del sistema operativo.

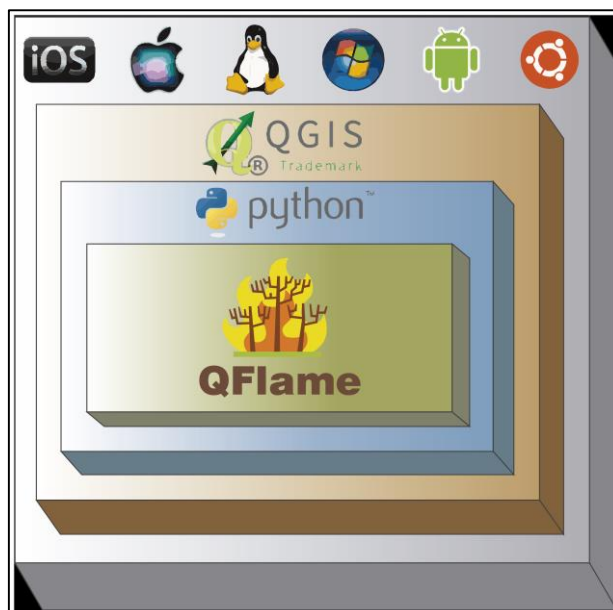


Figura 7 Diagrama de vista de alto nivel Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

8.3. Fase de Programación o Implementación

Para hacer uso del Plugin, el usuario requiere previamente:

- Instalar el software QGIS Desktop superiores a la versión 2.0.
- Ejecutar QGIS Desktop e instalar el complemento del Plugin QFlame.
- Tener la información insumo de tipo vectorial (Coberturas de la tierra con metodología Corine Land Cover e información de vías definida por el IGAC), y de tipo raster (DEM, Temperatura Media Anual, Precipitación Media Anual) con base a las especificaciones (escala, tiempo) requeridas para su uso, en lo que se destaca:
 - Almacenamiento en formato Shapefile (.shp)
 - Poseer igual sistema de coordenadas
 - Referencia de cobertura para la misma área
 - Consistencia de la información (topológica, temática y de posición)

Adicionalmente, la ayuda de QFlame es una búsqueda por índice indexada al botón de ayuda del paquete GIS. En caso de presentarse alguna excepción, el Plugin muestra un mensaje de error que muestra la descripción del evento. En lo que atañe a la eficiencia, QFlame es autoajutable a cualquier tamaño y resolución de pantalla, así como eficiencia en la lógica del flujo de eventos asociados a cada solicitud del usuario.

En términos de dependencia, QFlame es adaptable al software de escritorio QGIS superior a la versión 2.0, en idioma español para ser accedido por el usuario a través de la barra de herramientas del software. El Plugin, soporta desde su arquitectura el módulo de programación de Python de QGIS en su plataforma PYQGIS.

Como parte del proceso de implementación, se utilizó el software Pyscripiter y el lenguaje de programación Python, cuyos bindings PyQt4 y PyQGIS propician el desarrollo de extensiones en QGIS. La interfaz gráfica de usuario se realizó con la herramienta QtDesigner, implementado a través de la versión de QGIS 2.18.1 (Ver Figura 8).

```

169 def initGui(self):
170     """Create the menu entries and toolbar icons inside the QGIS GUI."""
171
172     icon_path = ':/plugins/Qflame/icon.png'
173     self.add_action(
174         icon_path,
175         text=self.tr(u'Qflame'),
176         callback=self.run,
177         parent=self.iface.mainWindow())
178
179     self.cambia_layer() # asigna los layers a las listas de campos
180     self.dlg.pBExecutar.clicked.connect(self.ejecutar)
181     self.dlg.pBRuta.clicked.connect(self.carga_ruta)
182     self.dlg.pBCalif.clicked.connect(lambda: self.ruta_archivo(self.dlg.lEcalif,"Rangos Cobertura","csv (*.csv)"))
183     self.dlg.pBCalif_temp.clicked.connect(lambda: self.ruta_archivo(self.dlg.lEcalif_temp,"Rangos Temperatura","txt (*.txt)")
184     self.dlg.pBCalif_pend.clicked.connect(lambda: self.ruta_archivo(self.dlg.lEcalif_pendiente,"Rangos Pendiente","txt (*.txt)")
185     self.dlg.pBCalif_precip.clicked.connect(lambda: self.ruta_archivo(self.dlg.lEcalif_precipitacion,"Rangos Precipitación","txt (*.txt)")
186     self.dlg.mMlCobertura.layerChanged.connect(self.cambia_layer)
187     self.dlg.mMlCobertura.setFilters(QgsMapLayerProxyModel.PolygonLayer) # filtra solo los layers vectoriales de tipo poligono
188     self.dlg.mMlVisa.setFilters(QgsMapLayerProxyModel.LineLayer) # filtra solo los layers vectoriales de tipo poligono
189     self.dlg.mMlTemperatura.setFilters(QgsMapLayerProxyModel.RasterLayer)
190     self.dlg.mMlDem.setFilters(QgsMapLayerProxyModel.RasterLayer) # filtra solo los layers raster
191     self.dlg.mMlPrecip.setFilters(QgsMapLayerProxyModel.RasterLayer) # filtra solo los layers raster
192

```

Figura 8 Sentencias para la InitGUI

Fuente: elaboración propia

Para la generación del proceso mismo del álgebra de mapas, el cual requiere de unos parámetros denominados ‘calificaciones’ que se encuentran en función a los atributos del objeto (capa) relacionado, se elabora los rangos de la carga de combustible, susceptibilidad y duración de

combustión según cobertura, así como la calificación de las pendientes, temperatura y precipitación del área de estudio, dispuestos éstos en archivos auxiliares de formato texto, los cuales se observan en la siguiente imagen.

Una vez definidos estos parámetros, se hace uso de la herramienta ‘QgsRasterCalculator’ del software QGIS, para la combinación de las capas iniciales, como es el caso de la generación de la capa insumo del mapa de susceptibilidad, cuyo producto es tipo raster (Ver Figura 9).

```

250 def sucep_incendios(self,capa1,capa2,capa3):
251     entries = []
252     ras1, ras2 , ras3 = QgsRasterCalculatorEntry() ,QgsRasterCalculatorEntry() ,QgsRasterCalculatorEntry()
253     ras1.ref, ras2.ref, ras3.ref = 'lyr1@1' , 'lyr2@1' , 'lyr3@1'
254     ras1.raster, ras2.raster, ras3.raster = capa1, capa2, capa3
255     ras1.bandNumber, ras2.bandNumber, ras3.bandNumber = 1 ,1, 1
256     entries.append( ras1 )
257     entries.append( ras2 )
258     entries.append( ras3 )
259     calc = QgsRasterCalculator( 'lyr1@1 + lyr2@1 + lyr3@1', self.ruta_trabajo+"\\sucep_comb.tif", 'GTiff', capa1.extent(), capa1.width(), capa1.height(), entries )
260     calc.processCalculation()
261     return processing.getObjectFromUri(self.ruta_trabajo+"\\sucep_comb.tif")
262

```

Figura 9 Sentencias para definir el raster calculator

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en la Figura 10 se observa que, para la capa con la información sobre Vías, se utilizó la herramienta ‘QgsGeometryAnalyzer tipo buffer’ para la generación del radio de distancia a 500, 1000, 1500, 2000, y 2500, que en la función ‘Ejecutar’ genera sus respectivos productos cartográficos resultantes.

```

289 def buffer(self,capa,distancia,capa_salida):
290     QgsGeometryAnalyzer().buffer(capa, capa_salida, distancia, False, True, -1)
291     return processing.getObjectFromUri(capa_salida)

```

Figura 10 Sentencias para la definición del buffer

Fuente: elaboración propia

Finalmente, a través de la reutilización de funciones que corresponden a los parámetros requeridos para el cálculo final como se observa en la Figura 11, y una vez ejecutado el botón del Plugin para su cómputo, se obtiene la generación del raster producto denominado mapa de incendios forestales, correspondiente de la zonificación del área de estudio seleccionada.

```

263 def funcion_final(self, susce, preci, temp, pend, acceso):
264     entries = []
265     susceR, preciR = QgsRasterCalculatorEntry(),QgsRasterCalculatorEntry()
266     tempR, pendR, accesoR =QgsRasterCalculatorEntry(),QgsRasterCalculatorEntry(),QgsRasterCalculatorEntry()
267     susceR.ref, preciR.ref, tempR.ref, pendR.ref, accesoR.ref = 'susce@1', 'preci@1', 'temp@1', 'pend@1', 'acceso@1'
268     susceR.raster, preciR.raster, tempR.raster, pendR.raster, accesoR.raster = susce, preci, temp, pend, acceso
269     susceR.bandNumber, preciR.bandNumber, tempR.bandNumber, pendR.bandNumber, accesoR.bandNumber = 1, 1, 1, 1, 1
270     entries.append(susceR)
271     entries.append(preciR)
272     entries.append(tempR)
273     entries.append(pendR)
274     entries.append(accesoR)
275     calc = QgsRasterCalculator( "(0.17*susce@1)+(0.25*preci@1)+(0.25*temp@1)+(0.03*pend@1)+(0.03*acceso@1)",
276     |self.ruta_trabajo+"\\Incendios.tif", 'GTiff', susce.extent(), susce.width(), susce.height(), entries )
277     calc.processCalculation()
278     return processing.getObjectFromUri(self.ruta_trabajo+"\\Incendios.tif")
279

```

Figura 11 Función final de ejecución del Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

8.4.Fase de prueba y evaluación del sistema

Para ejecutar de manera adecuada el Plugin primero se debe realizar la carga del complemento dentro del software QGIS, así como presentar toda la información base requerida (Ver Figura 12).

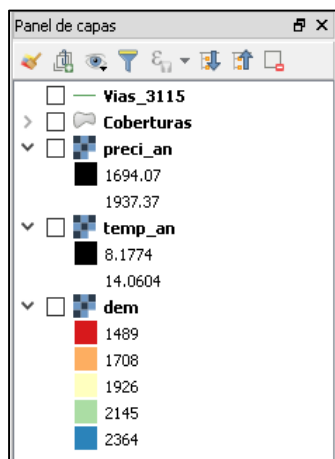


Figura 12 Datos requeridos por el Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

Posteriormente se debe ejecutar la herramienta desarrollada (Ver Figura 13) en donde desde la interfaz de QFlame se asigna toda la información asociada con el correspondiente archivo de calificación, así como una carpeta destino en donde reposa la información generada durante todo el proceso, y que finalmente generan las áreas vulnerables a eventos de incendios forestales.

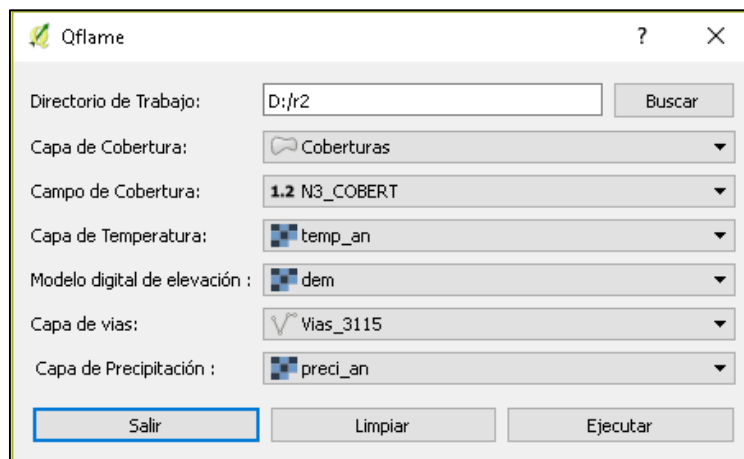


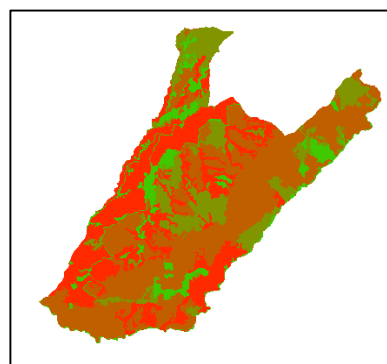
Figura 13 Interfaz de ejecución del Plugin QFlame

Fuente: elaboración propia

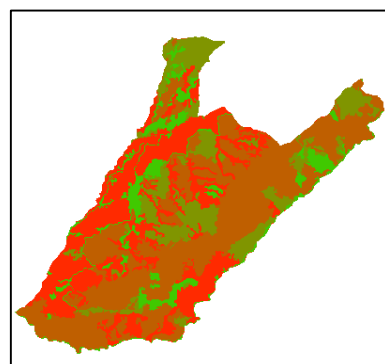
Dentro de todo el proceso interno se genera información intermedia, cuyos resultados para el municipio seleccionado (Albán – Nariño) se observan en la Figura 14, y los cuales son:

- a. El mapa de tipo de combustible.
- b. El mapa de carga de combustible asociado por cobertura.
- c. El mapa el tiempo de duración de combustión del incendio forestal por cobertura.
- d. El mapa de susceptibilidad a incendios forestales generado
- e. El mapa de rangos de precipitación
- f. El mapa de rangos de temperatura
- g. El mapa de rangos de pendiente
- h. El mapa de rangos de malla vial

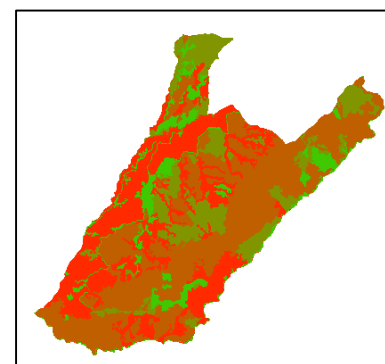
El usuario podrá disponer de ella al consultar la carpeta en donde guardo todos los archivos desarrollados durante el proceso de ejecución.



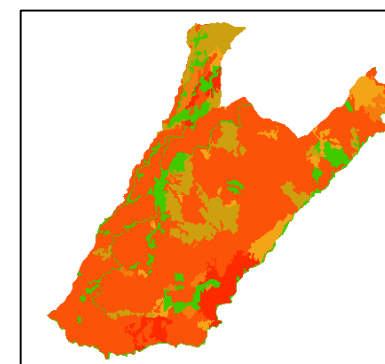
a. Tipo de combustible



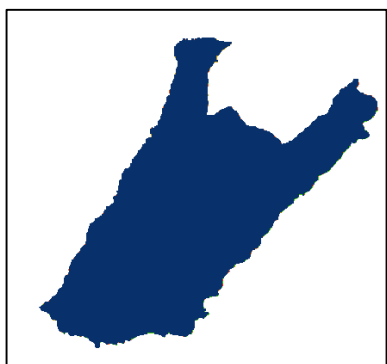
b. Carga de combustible



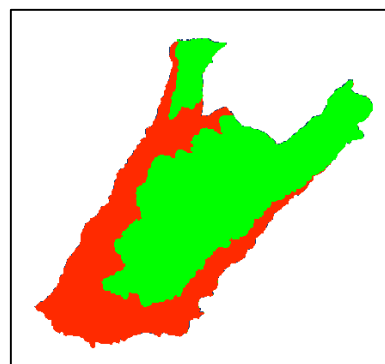
c. Duración de combustible



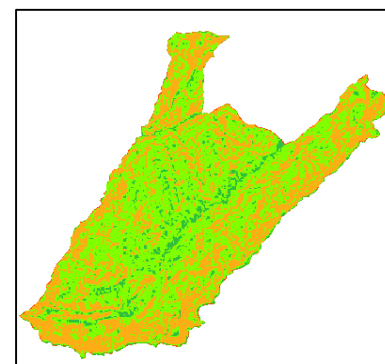
d. Susceptibilidad a incendios forestales



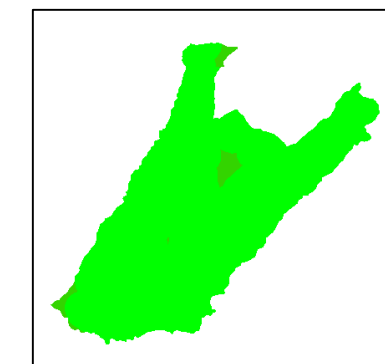
e. Rangos de precipitación



f. Rangos de temperatura



g. Rangos de pendiente



h. Rangos de malla vial

Figura 14 Capas de información generadas para el municipio de Albán, Nariño

Fuente: elaboración propia

Finalmente, después de obtener todos los insumos necesarios para la elaboración de las áreas susceptibles a incendios forestales, la herramienta procesa internamente cada uno de estos resultados, y genera un archivo en formato raster (Ver Figura 15) que a su vez es clasificada con todos los rangos definidos por elemento en base a la metodología del IDEAM (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Rangos para las áreas susceptibles a incendios forestales

Categoría de Amenaza	Rango	Color
Muy Baja	0 a 1	Verde
Baja	1 a 2	Verde claro
Moderada	2 a 3	Amarillo
Alta	3 a 4	Naranja
Muy Alta	>4	Rojo

Fuente: elaboración propia

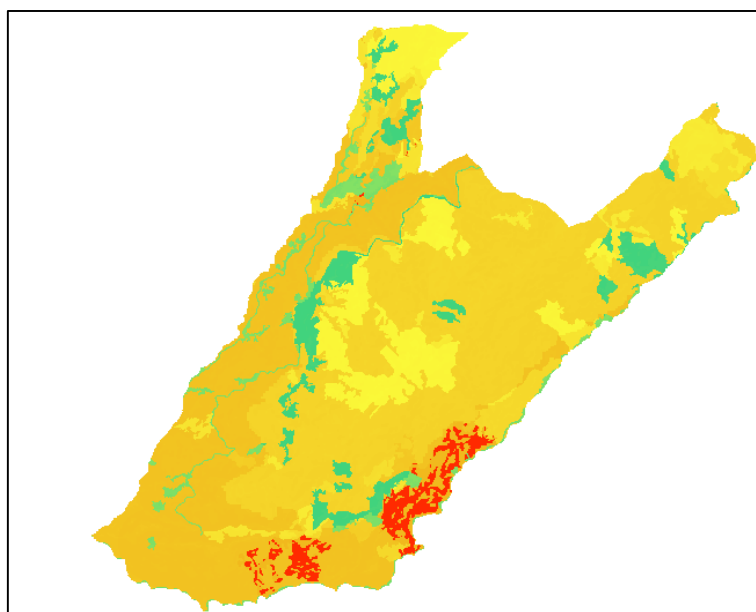


Figura 15 Mapa de áreas susceptibles a incendios forestales en el municipio de Albán, Nariño

Fuente: elaboración propia

Todos los elementos explicados anteriormente dan crédito al funcionamiento del Plugin generado, sin embargo, es importante evaluar en términos generales por personas que estén en

contacto o desarrollo con información generada para la planificación del territorio por medio del análisis de información geográfica que permita evaluar el funcionamiento y facilidad de entendimiento por parte de los usuarios.

En términos de Hardware se destaca que la ejecución del Plugin se realiza en cinco (5) equipos de cómputo, donde tres (3) presentan carácter portátil, y se logra identificar que los equipos que presentan un procesador superior a Icore 7, generan los resultados más rápidos, entre aproximadamente 2 a 4 minutos, mientras que un computador portable con un procesador iCore 3, tomo alrededor de 17 minutos en completar la ejecución del Plugin QFlame.

Para ejecutar la evaluación del Plugin QFLAME se toma la decisión de consultar a cinco (5) profesionales que se encuentren desarrollando proyectos de ordenación del territorio y específicamente manejando temas de gestión del riesgo; los elementos evaluados presentan una calificación de 1 a 10, en donde se destacan los siguientes elementos: (Ver Tabla 2)

Tabla 2 Evaluación y calificaciones del Plugin QFLAME

Nombre	Profesión	Experiencia laboral (años)	Usabilidad (puntos 1 a 10)	Utilidad (puntos 1 a 10)	Interfaz (puntos 1 a 10)
María Elena Montaña	Geóloga	2 años	10	10	9
Tatiana Prias	Ingeniera Ambiental	1 año	9	9	9
Daniela Medina	Ingeniera Topográfica	3 años	9	9	8
Jairo Andres Navarro	Ingeniero Forestal	2 años	8	10	9
Alexander Robles	Ingeniero Catastral y Geodesta	2 años y 6 meses	9	9	9

Fuente: elaboración propia

Dentro de la evaluación realizada para el equipo técnico seleccionado, se tiene como resultado final en términos de Usabilidad una evaluación de 9 puntos en promedio, Utilidad 9.4 puntos en promedio y de Interfaz 8.8 puntos en promedio; en la que se resalta principalmente la usabilidad y utilidad como los elementos más acordes.

Por otro lado, es importante mencionar que los usuarios presentaron algunas dificultades asociadas a la implementación de QGIS como software de trabajo por el desconocimiento en el manejo del programa en general. El aspecto con mayor calificación es la utilidad con un puntaje de 9.6, lo que muestra la importancia en el proceso de disminución de tiempos en la obtención de información asociada a los incendios forestales.

9. Conclusiones

- La metodología definida para el desarrollo adecuado del Plugin QFlame permitió el cumplimiento de los objetivos. La correcta elaboración de los análisis de requerimientos y el desarrollo conceptual adecuado para la fase de diseño permitieron implementar procesos ágiles enfocados a generar el producto con los resultados esperados y cumpliendo a satisfacción lo deseado por el usuario.
- A través de la fase de análisis, se logra la identificación de requerimientos funcionales y no funcionales, la temática abordada y como tiene en cuenta todas las condiciones necesarias para su transformación en un objeto de programación, como es QFlame para la generación de áreas susceptibles a incendios forestales.
- Para el desarrollo de la propuesta es necesario contar con un paquete de software GIS, el cual permita la instalación del complemento creado. En este orden, se ha elegido la herramienta de Quantum GIS (QGIS) por la accesibilidad y versatilidad que ofrece este paquete para su manipulación, además de su acceso como software GIS libre.
- En la fase de diseño, se logró conocer con mayor detalle la idea que se quiere implementar con QFlame, a través de la generación de su respectivo diagrama de clases, de componentes, de despliegue y de arquitectura.
- En este orden, requerir información parametrizada como la capa de isoyetas, capa de pendientes, capa de vías y otros, permite identificar la importancia de insumos básicos para la generación del resultado por parte del Plugin,

- Finalmente el resultado generado es el esperado, a su vez presenta toda la trazabilidad correspondiente para la obtención del mapa de incendios forestales, caracterizándose por su pertinencia, relevancia y autonomía para el procesamiento de información geográfica en relación con la temática de incendios forestales (desde el punto de vista de quien lo genera hasta el que lo evalúa), tan oportuna para la toma de decisiones sobre ‘nuestros’ POTs y POMCAs.
- El presente proyecto es apto y versátil para su ampliación y mejora, si se tienen en cuenta diferentes elementos representados en más variables que permitan mejorar el modelamiento de la amenaza natural hasta la herramienta ofimática, haciendo más robusta la herramienta presentada.

10. Referencias

- Garrard, C (2016) *Geoprocessing with Python*. Manning Publications Co, New York
- IDEAM (2011) *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos de cobertura vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá, D.C., Colombia
- Lawhead, J (2016). *QGIS Python Programming Cookbook*. Tokyo, Japan Open source publishing.
- NASA - ARSET (Applied Remote Sensing Training). (2016). *Descarga e instalación del QGIS*. Columbia, Estado Unidos: National Aeronautics and Space Administration.
- OsGeo. (2016). *QGIS User Guide, Publicación 2.8*. Estados Unidos: FSF - Free Software Foundation.
- Pressman, R.S. (2010). *Ingeniería Del Software. Un enfoque práctico*. (McGraw-Hill interamericana, Ed.), *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico* (Séptima Ed).
- QGIS Project (2015). *PYQGIS developer cookbook*. Publicación 2.8
- QGIS Project (2017). *PYQGIS developer cookbook*. Publicación 2.14
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de software* (Novena edición ed) México. Pearson Education
- Westra, Erik (2010) *Python Geospatial Development*. Birmingham, UK.Packt Publishing. Open Source,