

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Apoyo al Monitoreo de cicatrices de incendios para el año 2015, en los municipios de: Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco y Natagaima. En el Departamento del Tolima. Haciendo uso de la interface web del cubo de imágenes de satélite para Colombia (CDCol)

Cristian Fabian Cabiativa Sánchez

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

mayo de 2021

Apoyo al Monitoreo de cicatrices de incendios para el año 2015, en los municipios de: Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco y Natagaima. En el Departamento del Tolima. Haciendo uso de la interface web del cubo de imágenes de satélite para Colombia (CDCol)

Cristian Fabian Cabiativa Sánchez

Trabajo de Grado para optar al título de Ingenieros Ambientales bajo la modalidad de Pasantía

Director interno:

JOSÉ ALBERTO FIGUEROA FERNÁNDEZ

Director(a) Externa:

AMPARO RODRÍGUEZ LEÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
mayo de 2021

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres Mirian Sánchez y José Cabiativa, en primer lugar por brindarme su apoyo y dedicación en cada una de mis etapas de estudio.

A mi director interno el ingeniero forestal, José Alberto Figueroa Fernández, por el apoyo y soporte que me brindo en cada momento y proceso de mi pasantía para optar el título de Ingeniero Ambiental. A mi directora interna la ingeniera Forestal Amparo Rodríguez León, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía con el Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Y al equipo de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, quienes me brindaron la información necesaria para trabajar con el Cubo de Datos de Imágenes de Satélite para Colombia. Cuyos conocimientos no solo fueron de gran ayuda sino de gran aprendizaje.

También quiero agradecer a todas aquellas personas que estuvieron conmigo durante la realización de mi pasantía que de una u otra forma aportaron en la culminación del proyecto, a familiares y amigos que me han brindado su apoyo incondicional.

A todos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen 9

Abstract 9

1. Introducción 10

1.1 Planteamiento del Problema 11

2. Objetivos 13

2.1 Objetivo General 13

2.2 Objetivos Específicos 13

2.3 Justificación 14

3. Marco de Referencia 15

3.1 Antecedentes 15

3.2 Marco Conceptual 16

3.3 Marco Teórico 17

3.2.1 Incendio 17

3.2.2 Principios Básicos del Fuego 17

3.2.3 Factores que Intervienen en el Comportamiento del Fuego 18

3.2.4 Programa Landsat 8 19

3.2.5 Caracterización Espectral de Áreas de Quema 21

3.2.6 Cubo de Datos de Imágenes Satelitales para Colombia (CDCol) 23

3.2.7 Coberturas de la Tierra 27

3.2.8 Leyenda CORINE Land Cover Colombia 27

3.4 Marco Normativo 30

4. Datos y Metodología 31

3.1 Área de Estudio 31

3.1.1 Municipio de Carmen de Apicalá 31

3.1.2 Municipio de Suarez 32

3.1.3. Municipio de Ataco 32

3.1.4 Municipio de Natagaima 33

3.1.5 Municipio de Coyaima 33

4.2 Datos 36
4.3 Etapas 37
4.3.1 Etapa Uno: Elaboración Cronograma de Actividades de Acuerdo al Grupo de Trabajo (CDCOL) 38
4.3.2 Etapa Dos: Entrenamiento en el Manejo de Datos (CDCol) y Uso de Algoritmos de la Interfaz Gráfica (WUI) 38
4.3.3. Etapa Tres: Apoyar con la Estructuración de Documentación Técnica Asociada al (CDCol) 38
4.3.4. Etapa cuatro: Aplicación de los algoritmos del (CDCol), de Acuerdo Con el Grupo de Trabajo 39
4.3.5. Etapa cinco: Análisis de los Resultados Obtenidos de la Pasantía 58
5. Resultados y Análisis 58
4.1 Etapa Uno: Elaboración Cronograma de Actividades de Acuerdo al Grupo de Trabajo (CDCOL) 58
5.2 Etapa Dos: Entrenamiento en el Manejo de Datos (CDCol) y Uso de Algoritmos de la Interfaz Gráfica (WUI) 61
5.3 Etapa Tres: Apoyar con la Estructuración de Documentación Técnica Asociada al (CDCol) 61
5.4 Etapa Cuatro: Aplicación de los Algoritmos del (CDCol), de Acuerdo Con el Grupo de Trabajo 63
5.4.1 Descarga de las Imágenes Landsat 8 Con Cobertura de la Región 63
5.4.2. Cálculo del Indicé de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 65
5.4.3 Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada 68
5.4.4 Creación de la Composición Bandas (7, 5,2) 73
5.4.5 Creación de la Composición (NDVI, NBR, Banda 5) 76
5.4.6 Segmentación 78
5.4.7 Capa de Polígonos 83
5.4.8 Interpretación, Selección y Clasificación de Cicatrices 84
5.4.9 Determinación de Cicatrices por Coberturas 86
5.4.10 Generación de Estadísticas por Unidad Espacial de Referencia. 89
5.5 Metodología Propuesta (CDCol). 89
5.5.1 Ejecución Modelo Cicatrices de Quema (RF). (CDCol) 89
5.5.2 Evaluación de Resultados a Través de Matriz de Confusión 94

5.5.2 Generación de Estadísticas por Unidad Espacial de Referencia..... 95
4. Conclusiones..... 108
5. Recomendaciones 109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 *Distribución de las bandas en OLI y TIRS* 20
Tabla 2 *Contenido Unidades de Almacenamiento*..... 23
Tabla 3 *Lista de algoritmos*..... 25
Tabla 4 *Áreas de consulta de acuerdo al (CDCol)*..... 34
Tabla 5. *Tabla parámetros de consulta algoritmo CTM* 42
Tabla 6 *Parámetros de consulta algoritmo NDVI*..... 47
Tabla 7 *Parámetros de consulta NBR*..... 49
Tabla 8 *Parámetros de consulta Modelo de cicatrices de incendios* 55
Tabla 9. *Cronograma de actividades*..... 58
Tabla 10 *Temporalidades de Consulta* 59
Tabla 11 *Algoritmos ejecutados en el (CDCol)*..... 63
Tabla 12 *Información de ejecución, algoritmo compuesto temporal de medianas*..... 64
Tabla 13 *Parámetros de ejecución, algoritmo compuesto temporal de medianas*..... 64
Tabla 14 *Información de la ejecución, Algoritmo NDVI* 65
Tabla 15 *Parámetros de la ejecución, algoritmo NDVI* 66
Tabla 16 *Información de la ejecución, algoritmo NBR-Índice Normalizado de Área Quemada* 69
Tabla 17 *Parámetros de la ejecución, algoritmo NBR-Índice Normalizado De Área Quemada* 69
Tabla 18 *Relación entre el NBR y su severidad* 71
Tabla 19 *Resultados calidad de segmentación*..... 83
Tabla 20. *Resultados cicatrices de quema Municipio Carmen de Apicalá*..... 95
Tabla 21 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Suarez* 97
Tabla 22 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Coyaima* 98
Tabla 23 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Ataco*..... 101
Tabla 24 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Natagaima*..... 103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 *Triángulo de fuego* 17
Figura 2 *Ancho de banda para los sensores OLI y TIRS en Landsat 8 y ETM + en Landsat 7*..... 20
Figura 3 *Características áreas de incendios* 22
Figura 4 *Almacenamiento en tiles (CDCol)* 24
Figura 5 *Leyenda de Coberturas de la Tierra para Colombia* 28
Figura 6 *Área de estudio municipios de Carmen de Apicalá y Suarez* 35
Figura 7 *Área de estudio municipios de Coyaima, Natagaima y Ataco* 35
Figura 8 *Área de estudio municipios de Natagaima y Suarez* 36
Figura 9 *Etapas Generales del Proyecto* 37
Figura 10 *Metodología para mapear Cicatrices de Quema* 41
Figura 11 *Selección del algoritmo compuesto temporal de medianas* 43
Figura 12 *Selección de la Unidad de Almacenamiento Para la ejecución del Algoritmo* ... 43
Figura 13 *Área de estudio para la consulta* 44
Figura 14 *Formulario de finalización de una ejecución* 45
Figura 15 *Descarga de resultados* 45
Figura 16 *Resultado compuesto temporal de medianas* 46
Figura 17 *Selección del algoritmo NDVI* 47
Figura 18 *Resultado ejecución algoritmo NDVI* 48
Figura 19 *Selección del algoritmo NBR* 50
Figura 20 *Metodología Cicatrices de Incendio (CDCol)* 54
Figura 21 *Selección del algoritmo Modelo cicatrices de incendios (RF)* 56
Figura 22 *Selección de archivo ZIP como Modelo* 57
Figura 23 *(a) Anomalía del contenido de calor en la capa superior del Océano Pacífico ecuatorial para el año 2015. (b)Anomalía de la componente zonal de los vientos (m/s) en la capa 850 hPa sobre el Pacífico ecuatorial para el año 2015. (c) Anomalía de la capa de la temperatura superficial en el pacifico ecuatorial para los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre del año 2015* 60
Figura 24 *Resultados NDVI: Municipios de Ataco, Coyaima y Natagaima* 66
Figura 25 *Resultados NDVI: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 67
Figura 26 *Resultados, NBR, Municipios de Ataco, Coyaima y Natagaima* 70
Figura 27 *Resultados NBR: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 72
Figura 28 *Resultado composición de Bandas (7, 5,2) Municipio de Ataco, Coyaima y Natagaima* 73
Figura 29 *Ejemplo Composición (7, 5,2) SINCHI (Izquierda); Resultado composición (Derecha)* 74
Figura 30 *Resultado composición bandas (7, 5,2) Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 75
Figura 31 *Resultados Composición NBR-NDVI-B5 Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima* 76

Figura 32 *Ejemplo de composición NBR-NDVI-B5 (Izquierda) Resultados Composición NBR-NDVI-B5 (Derecha)* 77
Figura 33 *Resultados Composición NBR-NDVI-B5 Municipios de: Suarez y Carmen de Apicalá* 77
Figura 34 *Ejemplo de segmentación* 78
Figura 35 *Parámetros ejecución Segmentación* 79
Figura 36 *Ejemplo clases de cobertura en eCognition* 80
Figura 37 *Resultados Clasificación supervisada eCognition* 80
Figura 38 *Exportación de resultados* 83
Figura 39 *Resultado selección cicatrices de incendios* 84
Figura 40 85
Figura 41 *Resultados cicatrices de incendios: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 86
Figura 42 *Superposición Bosque - No boque y cicatriz* 87
Figura 43 *Identificación cicatriz por cobertura* 87
Figura 44 *Identificación cicatriz por cobertura* 88
Figura 45 *Clasificación supervisada* 89
Figura 46 *Muestras Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima* 90
Figura 47*Resultados de la ejecución Modelo de cicatrices de Incendios (RF) Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima* 91
Figura 48 *Muestras Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 92
Figura 49 *Resultados Modelo cicatrices de Incendios (RF) Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá* 93
Figura 50 *Comparación cicatrices de quema de herbazal Carmen de Apicalá* 96
Figura 51 *Porcentajes de áreas de quema por cobertura Municipio de Carmen de Apicalá* 96
Figura 52 *Comparación cicatrices de quema pastos limpios Municipio de Suarez* 97
Figura 53 *Porcentaje de áreas de quema por cobertura Municipio de Suarez* 98
Figura 54 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Coyaima* 99
Figura 55 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Coyaima* 100
Figura 56 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Ataco* 102
Figura 57 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Ataco*. 102
Figura 58 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Natagaima* 104
Figura 59 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Natagaima* 105
Figura 60 *Total de cicatrices de incendios por cobertura* 106
Figura 61 *Porcentaje total de áreas de cicatrices por cobertura* 107
Figura 62 *Mapa cicatrices de incendios Municipios: Natagaima, Ataco y Coyaima* 115
Figura 63 *Mapa de cicatrices de incendios Municipios: Carmen de Apicalá y Suarez* 116

Resumen

La detección de las cicatrices de incendios es fundamental para evaluar las áreas que han sido afectadas por conflagración, la cual permite determinar las coberturas perjudicadas por dicho fenómeno. Para la determinación de las áreas afectadas por incendios, se siguió la *"Guía metodológica para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana"*, del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". La cual se adaptó a las necesidades del grupo de trabajo del cubo de datos (CDCol). Esta adaptación se dio en la aplicación de los algoritmos presentes en la interface Web del (CDCol), siguiendo los pasos metodológicos para tal fin. Los resultados obtenidos mediante el desarrollo de la metodología del "SINCHI", son analizados y comparados, con el modelo de cicatrices de incendios del (CDCol). Para el desarrollo de los dos modelos de determinación de cicatrices de incendio, se tomaron como referencia los siguientes municipios: Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco y Natagaima. Del departamento de Tolima.

Palabras clave: Cicatrices de incendios, Cubo de Datos de Imágenes de Satélite para Colombia (CDCol), coberturas, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de severidad de incendios (NBR), metodología.

Abstract

The detection of fire scars is essential to evaluate the areas that have been affected by conflagration, which allows determining the coverage that has been affected by them. To determine the areas affected by fires, the "*Guía metodológica Para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia Colombiana* ", of the Amazonian Institute for Scientific Research "SINCHI", was followed. This was adapted to the needs of the (CDCol) data cube working group. This adaptation took place in the application of the algorithms present in the (CDCol) Web interface, following the methodological steps for this purpose. The results obtained through the development of the "SINCHI"

methodology are analyzed and compared with the (CDCol) fire scar model. For the development of the two models for determining fire scars, the following municipalities were taken as a reference: Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco and Natagaima. From the department of Tolima.

Keyword: Fire scars, (CDCol), covers, normalized difference vegetation index (NDVI), fire severity index (NBR), methodology.

1. Introducción

Uno de los pasos más importantes en materias de monitoreo y seguimiento forestal se da en el año 2006, donde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), da inicio al diseño e implementación del "Programa nacional para el monitoreo y seguimiento de los bosques y áreas de aptitud forestal" (PMSB), el cual busca obtener, conocer y estandarizar la información de los ecosistemas de bosques del país, a partir de la articulación y orientación de los diversos esfuerzos de las instituciones que conforman el SINA. (Lozano, 2019)

En el año 2008 se logra consolidar una primera versión funcional del PMSB, según Lozano (2019) , los aspectos relacionados con el bosque a monitorear son:

1. Reserva forestal, dinámica de biomasa y carbono (Gases de efecto Invernadero). (GEI)
2. Aprovechamiento, movilización y comercio de productos del bosque
3. Deforestación y degradación, Incendios forestales, entre otros.

A partir del siguiente año en el 2009, el IDEAM comienza las operaciones con el PMSB, poniendo en marcha los sistemas de información, permitiendo que el país genere información sobre el monitoreo forestal. Es por ello que en ese mismo año se consolida el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF). El cual permite acopiar y analizar información sobre aprovechamientos, movilizaciones, decomisos y plantaciones forestales protectoras como aporte a la toma de decisiones y definición de políticas en estas materias. (Lozano, 2019)

Para el año 2012 el IDEAM con la ayuda financiera de la fundación Gordon and Betty Moore, Ecopetrol S.A y la iniciativa GEF- "Corazón de la Amazonia", se logra consolidar y pone en marcha el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como soporte a la Política Ambiental y de Manejo en Colombia, este sistema ha permitido cuantificar la deforestación histórica en Colombia para los periodos 2010-2012, 2012-2013 y 2013-2014, 2014-2015. En estas tres últimas cifras anuales del monitoreo de coberturas boscosas, se tuvo una reducción de presencia de áreas de cobertura de nubes, lo que permite tener datos más confiables. (Lozano, 2019).

De acuerdo con él Seminario Nacional anual sobre Monitoreo de la Cobertura Forestal IDEAM, (2017), Colombia empezó a explorar en la tecnología del cubo de datos con el monitoreo de bosques, con los respectivos estándares aportados por el IDEAM, sin embargo las características biofísicas del territorio colombiano representan todo un reto para el monitoreo basado en las imágenes de satélite. Sin embargo y de acuerdo con él IDEAM (2015), la herramienta Cubo de Datos de imágenes de satélite para Colombia (CDCol), es un pilar que puede fortalecer y consolidar el monitoreo de los recursos naturales del país, ya que las características del cubo de datos permite almacenar, manejar y analizar grandes volúmenes de información de una manera eficiente. De acuerdo con el objetivo principal de la herramienta la cual es obtener datos de múltiples sensores para un área y un periodo de tiempo determinado, para así generar análisis de los datos recuperados, y generar reportes en diferentes formatos.

1.1 Planteamiento del Problema

De acuerdo con el Sistema de Información Ambiental de Colombia, SIAC (n.d), la alta diversidad ecológica, la sostenibilidad de recursos como el agua y el suelo, y algunas actividades humanas se ven afectadas en Colombia, por los incendios de las coberturas vegetales. Cuyo fenómeno es más notorio y ocurrente en periodos secos anuales, en especial zonas del área andina, donde se ven afectados: paramos, bosque húmedo andino y áreas de plantaciones forestales, cuyas causas también se deben a la expansión de fronteras agrícolas y falta de educación ambiental de la población.

De acuerdo a las cifras presentadas en 2016, por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia perdió 178.597 hectáreas de bosque, una cifra que representa un incremento del 44 % comparada con la tasa reportada para el año 2015. Además de las cifras del incremento de la tasa de deforestación, el IDEAM a través de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, presentada para el mismo año, deja al descubierto los impactos del calentamiento global en varias regiones del país. (Universidad de los Andes, 2018).

Los incendios forestales, también son una de las causas más importantes en la perdida de coberturas boscosas, las cuales afectan la diversidad biológica y la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, de acuerdo a las cifras de García (2013), entre el año 2000 y 2010, 8.857 hectáreas de bosque se vieron afectadas por incendios en el país. Este fenómeno se presenta con gran recurrencia durante los periodos secos prolongados causados por el fenómeno del niño. Las regiones más susceptibles a incendios forestales son la región del Orinoquia, así como la región Andina y Caribe. (H. García, 2013).

Dentro de la problemática de incendios forestales en Colombia, se estima que casi la totalidad de las conflagraciones, son generadas de manera antrópica, generadas intencionalmente para la ampliación de la frontera agropecuaria, o por negligencias por no tomar las precauciones adecuadas en diferentes actividades como lo pueden ser: (quemas agrícolas, fumadores, fogatas, pólvora, cacería de animales, entre otros.), o bien, accidentales. (H. García, 2013).

Teniendo en cuenta que se deben tomar medidas, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, presentó en el año 2017 la Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques, cuyo propósito es reducir la deforestación y la degradación de los bosques, promoviendo su conservación y manejo sostenible, a través del desarrollo y la articulación de políticas, medidas y acciones que incidan en la gestión de los bosques, como eje fundamental en el desarrollo rural integral sostenible. Esta propuesta fue realizada como un aporte al proceso de construcción de la paz, la adaptación y la mitigación al cambio climático, en un enfoque de desarrollo sostenible teniendo como eje los bosques. (IDEAM et al., 2018).

El IDEAM, con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente, y la Comisión Nacional para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales, inician procesos de publicación de boletines semestrales, cuyo fin es el de abordar la problemática de los incendios sobre las coberturas vegetales, el cual sirve de medio informativo de interés general, para el área ambiental. A partir de publicaciones de artículos acerca de los que se realiza en este tema, en al ámbito nacional, y presentar semestralmente indicadores de estado y seguimiento de las coberturas vegetales frente a la ocurrencia de los incendios en Colombia.(IDEAM, 2004)

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Apoyar un ejercicio de monitoreo de cicatrices de incendios para el año 2015, aplicando la metodología propuesta por el Grupo de Bosques del IDEAM y haciendo uso de la interface web del Cubo de Datos de Imágenes satelitales para Colombia (CDCol), para los municipios de Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco y Natagaima. En el departamento del Tolima.

2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar los algoritmos disponibles en la plataforma del (CDCol) del IDEAM, conforme a las necesidades requeridas por la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental sobre el monitoreo de la superficie de bosque y deforestación a nivel nacional y/o regional.

- Apoyar en la estructuración de contenido y recursos con fines académicos, que permitan evidenciar la importancia del monitoreo forestal en el país con la herramienta tecnológica del (CDCol) del IDEAM, a través de los resultados obtenidos de la ingesta de información satelital y las temáticas ambientales que se aborden con el grupo de trabajo.

- Analizar la importancia de adoptar la herramienta tecnológica (CDCol) del IDEAM, para el monitoreo de la superficie de bosque y deforestación a nivel nacional y/o regional, de acuerdo a los resultados obtenidos en la determinación de cicatrices de quema y a la metodología propuesta con el grupo de trabajo.

2.3 Justificación

El monitoreo de las cicatrices de incendios es fundamental para el análisis de las coberturas que se pierden por quema, en especial de áreas boscosas. Según lo planteado por el Ministerio de Ambiente "MINAM" (2017), estas áreas de quema, son puntos donde se han producido incendios, cuya identificación se realiza a través de un análisis multi-temporal, utilizando imágenes de satélite. Sin embargo, (Rodríguez et al., 2017), planeta que la teledetección de estas áreas quemadas es muy compleja, por la falta de información cartografiables, derivado a las problemáticas que pueden tener algunos sensores en capturar la información como lo puede ser la nubosidad de un área en el momento de la capturas de imágenes satelitales.

Ante las problemáticas que se pueden tener en la determinación de cicatrices de incendios a través de la teledetección, el presente trabajo titulado "Apoyo al Monitoreo de cicatrices de incendios para el año 2015, en los municipios de: Carmen de Apicalá, Suarez, Coyaima, Ataco y Natagaima. En el Departamento del Tolima. Haciendo uso de la interface web del Cubo de datos de imágenes de Satélite para Colombia (CDCol.)" Pretende desarrollar un nuevo procedimiento a partir de los resultados obtenidos de la *"Guía metodológica para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana"*, del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". (Gonzalo et al., 2017). Y los resultados obtenidos de la aplicación del "*Modelo de cicatrices de incendios (RF)"* por ende, lo que se quiere lograr con el presente trabajo es determinar una metodología de cicatrices de quema, la cual se ajuste a los requerimientos del equipo de trabajo del Cubo de Datos de imágenes satelitales para Colombia (CDCol), en especial con la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental.

3. Marco de Referencia

3.1 Antecedentes

En el año 2006, con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), se da inicio al programa (PMSN) "Programa Nacional para el Monitoreo y seguimiento de los bosques y áreas de aptitud forestal" (Lozano, 2019). Este busca obtener, conocer y estandarizar la información forestal del país.

Para el año 2008, se logra la consolidación de PMSN, el cual según Lozano (2019), busca monitoreas los siguientes aspectos : (1. Reservar dinámicas de carbono y biomasa, 2. Aprovechamiento, movilización y comercio de productos forestales, 3. Deforestación y degradación, 4. Incendios, entre otros).

Según Lozano (2019), el IDEAM para el año 2009 comienza la operacionalización del PMSN, así mismo, se consolida el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF). Para ese mismo año el IDEAM, empieza a recibir el apoyo financiero de Gordon and Betty Moore de (EEUU), el cual fortalece los mecanismos técnicos y fortalecer los proyectos relacionados con el (REDD) "Reducción de Emisiones procedentes de la Deforestación y Degradación ambiental".

Para el año 2012, con el apoyo económico de Gordon and Betty Moore de (EEUU), Ecopetrol S.A y la iniciativa GEF "Corazón de la Amazonia" se alcanza la consolidación y puesta en operación del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), como un soporte a las políticas ambientales y de manejo del país. Logrando una cuantificación histórica de deforestación para los periodos 2010-2012, 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015. (Lozano, 2019).

De acuerdo a Lozano (2019), el cubo de datos de imágenes de satélite para Colombia se empieza a desarrollar e implementar en el año 2015, el cual ayuda a consolidar aún más el monitoreo de los recursos naturales del país. Esta idea se lidera con el Comité de Satélites de Observación de la Tierra "CEOS" (*Committee on Earth Observation Satellites*) y apoyada por la oficina de ingeniería de sistemas "SEO"

(Systems Engineering Office) de la NASA y "CSIRO" de Australia (*Commwealth Scientific and Industrial Research Organization*). (Lozano, 2019).

3.2 Marco Conceptual

Cicatrices de quema: Una cicatriz de quema es la huella que deja un incendio o quema presentada sobre una porción del territorio. En la mayoría de los casos, han trasformado las coberturas presentes dejando el suelo desnudo.(SINCHI, 2015)

Incendio Forestal: Fuego que se extiende sin control, cuyo combustible principal es la vegetación viva o muerta. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, 2010)

Incendio de subsuelo: Este tipo de incendio es aquel que se propaga por debajo de la superficie a través de las raíces y materia orgánica presente.

Incendio de superficie*:* Son aquellos incendios que se propagan sobre la superficie del terreno, por lo que el combustible se encuentra por encima del suelo, siendo las hojarascas, árboles caídos, ramas caídas, entre otro tipo de combustible presente. (MINAM, 2017).

Incendio de copas*:* este tipo de incendio se presenta en las copas de los árboles y su propagación se da por conducción. (MINAM, 2017)

IDEAM: El IDEAM es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.(IDEAM, 2015)

3.3 Marco Teórico

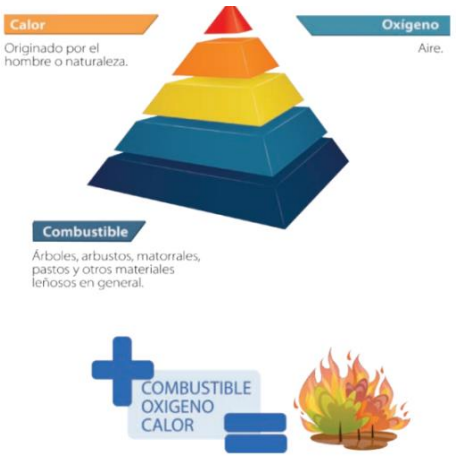
3.2.1 Incendio

De acuerdo al MINAM (2017), el incendio se define como la reacción química producida por la ignición y combustión de materiales, para que ocurra esta reacción es necesario tres elementos, el combustible a quemar, el aire para obtener el oxígeno y una fuente de calor para llevar a los combustibles a la temperatura de ignición. El fuego producto de la ignición y combustión se produce en dos etapas, la primera de ellas se da por precalentamiento de materiales, produciéndose este por transmisión de calor hasta llegar arder, por consiguiente viene la combustión, la cual no requiere de otra fuente de calor. (MINAM, 2017)

3.2.2 Principios Básicos del Fuego

De acuerdo con Hernández (2019), para que se genere fuego se debe tener la existencia de tres elementos : un origen de calor, el combustible y el aire. Y una vez causada la propagación del incendio, esta se ve influenciada por tres factores: el tipo de combustible, la climatología y la topografía.

Figura 1 *Triángulo de fuego*



Nota. Tomado de *lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal* (p.17), por Hernández (2019).

Por tanto, para que un fuego se inicie es necesario la coexistencia en el mismo sitio, y al mismo tiempo de los tres elementos que componen el llamado "triángulo de fuego". Figura 1.

En el caso de un incendio forestal, el primer componente es los combustibles vegetales, compuestos por las plantas vivas tantos herbáceos como leñosas o por los residuos muertos como la leña, que se encuentran en los bosques, el cual está integrado por materias combustibles: hiervas, hojarascas, humus, matorral, arbustos, árboles, frutos, tocones y otros, por lo que su existencia está permanentemente amenazada por el fuego. (Hernández, 2019).

3.2.3 Factores que Intervienen en el Comportamiento del Fuego

Según Hernández (2019), el fuego está determinado por la gran triada, o tres factores: topografía, tiempo atmosférico (meteorología) y combustible, estos tres factores son :

Factor permanente:

- La composición de los combustibles (elemento principal que determina las características de un incendio)
- Las especies vegetales
- La topografía .Condiciones transitorias: (de tipo meteorológico)
- Temperatura
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitación pluvial (lluvia).

Otros elementos:

- La fuente de calor, que en el caso de los bosques no existe la combustión espontánea, siempre se requiere de una fuente incandescente externa mayor a 200°C para que ocurra el incendio.
- La temporada, los incendios pueden ocurrir en cualquier momento, sin embargo, en el caso de Colombia su mayor incidencia corresponden a dos temporalidades la primera de ellas afecta a las zonas centro, norte, noreste y sureste del país, he inician en diciembre para concluir en marzo. La segunda temporalidad inicia en julio y termina en octubre y se registra en el noroeste del país. Estas dos épocas o temporadas concuerdan con las temporadas secas del país.
- Los asentamientos, la ocupación del territorio incrementa la posibilidad de ocurrencia de incendios forestales, debido al fácil y constante acceso del territorio.

3.2.4 Programa Landsat 8

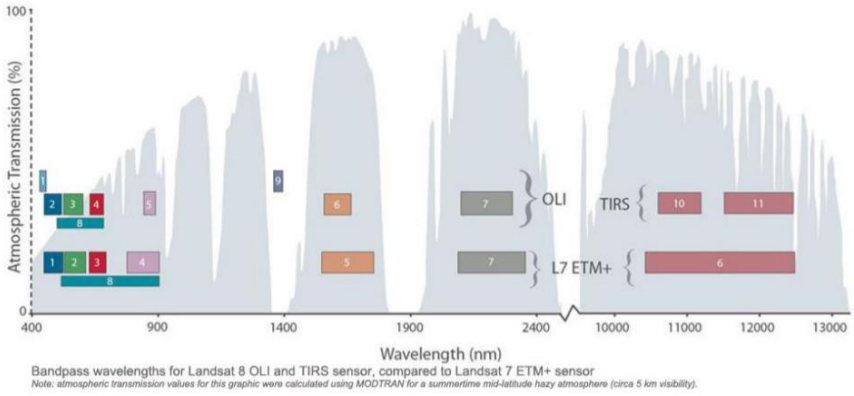
La idea de utilizar satélites ha persistido desde los años 1972, tiempo en el cual era visionario pensar en la cartografía y exploración de la tierra. El programa Landsat ha tenido una serie de misiones gestionadas por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).(Ariza, 2013).

En la actualidad dicho programa se encuentra en su octava versión la cual se denomina: “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) el cual es el octavo satélite lanzado de la tierra, siguiendo el legado de los demás satélites de la misma familia, siendo así el futuro de los satélites de observación de tierra de mediana resolución con más historia. (Ariza, 2013).

3.2.4.1 Diferencias y semejanzas de Landsat 8.

El satélite de Landsat de acuerdo con Ariza (2013), incorpora dos instrumentos de barrido. ***Operational land imager*** "OLI", y un sensor térmico infrarrojo llamado ***Thermal infrared*** sensor "TIRS". (Ariza, 2013).

Figura 2 *Ancho de banda para los sensores OLI y TIRS en Landsat 8 y ETM + en Landsat 7*



Nota. Tomado de *descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)* (p. 8), por Ariza (2013).

De acuerdo con Ariza (2013), las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor OLI y TIRS, constan de nueve bandas espectrales , de una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. La nueva banda 9, es útil para la detección de cirrus. La banda 8 (pancromática) es de 15m. Mientras que las bandas 10 y 11 útiles para temperaturas térmicas se toman a 100m.

Tabla 1 *Distribución de las bandas en OLI y TIRS*

	Bandas	**Longitudes de onda (micrómetros)**	**Resolución (metros)**
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 – Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 – (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1.57 - 0.65	30

Infrared	Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Sensor	Banda 8 – Pancromático	0.50 - 0.68	15
(TIRS)	Banda 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Banda 10 – TIRS 1	10.60 - 11.19	100
	Banda 11 – TIRS 2	11.50 – 12.51	100

Nota. Tomado de *descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)* (p. 10), por Ariza (2013).

La Tabla 1, muestra cada una de las bandas que componen el satélite de Landsat 8 con sus respectivas longitudes de onda y resolución.

3.2.5 Caracterización Espectral de Áreas de Quema

De acuerdo con Pereira & Setzer, (1993), la caracterización espectral de áreas quemadas se consideran a partir de dos tipos de señales, la primera de ellas proviene de la formación y disposición de cenizas y carbón, y la segunda procedente de la alteración de la estructura y cantidad de vegetación.

La primera de estas señales es consecuencia de la combustión de vegetación, la cual tiene consecuencias a corto plazo, esto debido a factores como el viento y la lluvia, los cuales degradan y eliminan en semanas o meses la acción producida por los incendios (Pereira & Setzer, 1993).

La segunda señal, la cual es consecuencia de las alteraciones estructurales en la cantidad de vegetación, se puede dar por la consecuencia de eliminación parcial o total de la vegetación, a causa de factores como: deforestación, aclareos, estrés de la vegetación, acción de las plagas entre otros (Pereira & Setzer, 1993).

En cuento al análisis espectral de las áreas afectadas por quema, según Pereira & Setzer, (1993), se dan por perdida de la clorofila de las coberturas vegetales y/o aumento en la proporción de suelo descubierto.

La caracterización espectral de áreas de quema, se pueden apreciar gracias a el infrarrojo cercano de la región del espectro donde la señal de las áreas quemadas son más

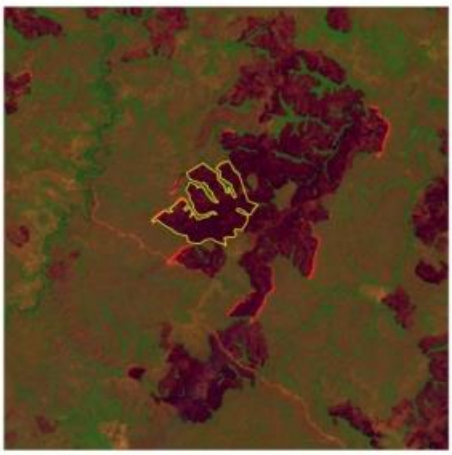
recientes, es decir cuando la cantidad de combustible quemado es alta, produciendo una gran cantidad de carbón que se deposita en el suelo, generando una disminución de reflectividad (Pereira & Setzer, 1993).

3.2.5.1 Análisis Visual de las Áreas de Quema

El método más simples y efectivos para cartografiar áreas de quema, se basa en la interpretación visual de los diferentes espectros generados a través de imágenes de satélite, pues el análisis de las imágenes, por clasificación es uno de los patrones del conocimiento más efectivos por el cerebro humano (Smith et al., 2007).

De acuerdo con Smith et al., (2007), las composiciones de los colores dependen de las escenas entregadas por Landsat, para la propuesta de áreas de quema se pueden tener : bandas Swir2-Nir-Costal, como se puede apreciar en la Figura 3 , se tiene una composición Swir2-Nir-Costal, donde las áreas de quema se denotan en colores rojizos granates característicos estas áreas de conflagración .

Figura 3 *Características áreas de incendios*



Nota. En la figura se puede apreciar la digitalización de un polígono, como cicatriz de incendio, además en rojo fluorescente se observa el fuego intenso, Tomado de *identificación de áreas quemadas por incendios forestales en el departamento del meta y determinación de medidas de intervención para su reducción,* (p.78) por, Rodríguez et al., (2017).

La caracterización y detección de áreas quemadas se evalúan a través del espectro, donde el infrarrojo cercano es la región del espectro que arroja mejores resultados, pues la

discriminación de incendios recientes es más nítida, por esta razón es la banda más acertada para el análisis de detección y delimitación de áreas de quema (Smith et al., 2007).

3.2.6 Cubo de Datos de Imágenes Satelitales para Colombia (CDCol)

El Cubo de Datos imágenes de satélite para Colombia es uno de los pilares que permite fortalecer y consolidar el monitoreo de los recursos naturales en el país, ya que permite el almacenamiento, manejo y análisis de grandes volúmenes de información de sensores remotos de forma eficiente.(IDEAM, 2015).

El principal objetivo de este Cubo de Datos es proveer a los usuarios una herramienta que permita obtener datos de múltiples sensores para un área y un periodo de tiempo determinados, realizar operaciones de análisis sobre los datos recuperados, generar reportes en diferentes formatos (imágenes, animaciones, gráficos, tablas, entre otros) y facilitar la generación de nuevas funciones de análisis.(IDEAM, 2015).

3.2.6.1 Unidades de Almacenamiento.

De acuerdo con el IDEAM (2019), Las unidades de almacenamiento del (CDCol), sirven para explorar el contenido almacenado en el cubo de datos. Dicha información, que se encuentra almacenada, corresponden a los diferentes sensores de Landsat.

Tabla 2 *Contenido Unidades de Almacenamiento*

Sensor (Unidad de Almacenamiento)	Fecha Inicio	Fecha Fin
Landsat 5	01/01/2000	31/12/2011
Landsat 7	01/01/2000	30/07/2019
Landsat 8	26/03/2013	30/07/2019
Sentinel 1	01/12/2018	31/12/2018
Mosaico Compuesto Temporal de Medianas (PDI)	2015	2015
Mosaico Compuesto Temporal de Medianas (PDI)	2016	2016
Mosaico Compuesto Temporal de Medianas (PDI)	2017	2017

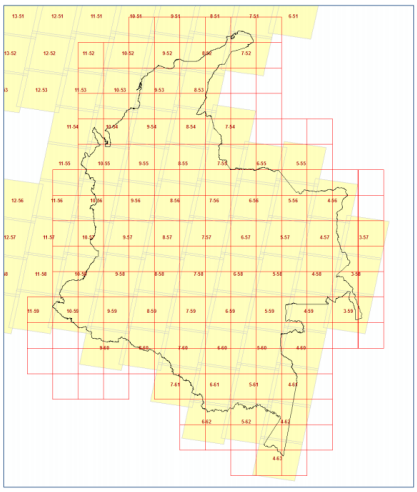
Mosaico Compuesto Temporal de Medianas (PDI)	2018	2018
Mapa Oficial de Bosque / No Bosque	2016	2016
Mapa Oficial de Bosque / No Bosque	2017	2017
Modelo Digital de Superficie	2013	2013

Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.8) por IDEAM, (2019).

Como se puede observar en la Tabla 2, hay que tener en cuenta las fechas de almacenamiento de las imágenes Landsat, por ejemplo el sensor de almacenamiento Landsat 8, no puede realizar consultas antes de la fecha 26/03/2013, pues este satélite no se encontraba en órbita.

El IDEAM (2019), ingesta las imágenes Landsat del (CDCol), mediante unidades llamadas tiles , las cuales corresponden a la división de las escenas en imágenes de un grado por un grado.

Figura 4 *Almacenamiento en tiles (CDCol)*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.9),por IDEAM, (2019).

De acuerdo a la Figura 4, se puede observar en amarillo la figura Landsat obtenidas sobre el territorio colombiano y la cuadricula en rojo indica la división de la imagen en 1° x 1° tal cual se encuentra en el (CDCol), para su consulta. (IDEAM, 2019).

3.2.6.2 Listado de Ejecuciones.

El listado de ejecuciones se encuentra listado por cada uno de los algoritmos que cuenta el (CDCol). Los cuales se agrupan por cuatro grandes temáticas:

- Compuestos temporales
- Otros análisis
- Índices temáticos
- Clasificaciones

Dentro de estas temáticas se encuentran diferentes tipos de algoritmos, como se puede apreciar a continuación:

Tabla 3 *Lista de algoritmos*

CDCol. IDEAM	
Tipo de ejecución	**Algoritmos**
Compuesto Temporal Libre de Nubes	Compuesto temporal de medianas
Índice de Incendios	NBR- Índice Normalizado de Área Quemada
Índice de Nieve	NDSI (Normalized Difference Snow Index)
Indices de Agua	MNDWI modification (The normalized difference water index modified) NDWI (The normalized difference water index)
Índices de vegetación	Greenest Pixel NDVI
Clasificación de Agua	WOFS (Water Observations from Space)
Clasificación de Bosque	Bosque-No Bosque
Clasificación Supervisada Machine Learning	Modelo de cicatrices de incendios(RF) Random Forest Emsamble Voting Mosaic Emsamble Bagging Mosaic Emsamble Bagging

Nota. La tabla representa cada uno de los algoritmos presentes en el CDCol, Autor, (2021).

A continuación se describirán las ejecuciones más relevantes para la determinación de cicatrices de incendios:

Compuesto Temporal Libre de nubes : esta es la integración espacio-temporal de un conjunto de imágenes las cuales son registradas para cada una de las bandas

espectrales disponibles, este modelo realiza un modelo estadístico conforme a la temporalidad de consulta. De esta forma se asegura que el producto contenga la mayor cantidad de información y se reduzcan las áreas sin información. Este compuesto puede ser generado sobre el catálogo de imágenes Landsat 5, Landsat 7 y/o Landsat 8 y se normaliza por el método de máximos y mínimos.(IDEAM, 2019).

Índice de razón de área quemada normalizado (NBR): este índice es un diseño capas de resaltar las áreas de quema para ello emplea el uso de longitudes de onda de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y la banda de infrarrojo de onda corta (SWIR). (IDEAM, 2019).

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): es un índice de vegetación usado para estimar la vigorosidad de la vegetación la cual se basa con la medición de la intensidad de la radiación, para el cálculo del índice son necesarias las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético. Este índice puede ser calculado sobre la selección del catálogo de imágenes Landsat 5, Landsat 7 y/o Landsat 8.(IDEAM, 2019).

Bosque/No Bosque: este algoritmo es utilizado con base en el análisis NDVI, sobre el cual el algoritmo recorre la imagen por una ventana definida por el usuario (3x3, 1x1 pixeles), el umbral de validación es aquel que el usuario determine para la ejecución. Este algoritmo de clasificación puede ser calculado sobre el catálogo de imágenes Landsat 5, Landsat 7 o Landsat 8.(IDEAM, 2019).

Modelo de cicatrices de incendios (RF): este algoritmo funciona a partir de un modelo de clasificación supervisada *machine Learning*. Permiten el uso de máquinas de aprendizaje que trabajan con algoritmos que entrenan a partir de un histórico de datos con un *label*, los respectivos resultados obtenidos con la ejecución del algoritmo dependerán de los datos suministrados y la etiqueta espectral generada en la salida de la ejecución con los respectivos valores adecuados. Este algoritmo de clasificación supervisada puede ser calculado sobre el catálogo de imágenes Landsat 5, Landsat 7 o Landsat 8 .(IDEAM, 2019).

3.2.7 Coberturas de la Tierra

El término "cobertura" de la tierra, se refiere a la parte biofísica que se puede observar sobre la superficie de la tierra según la (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y Agricultura) FAO (2005), sin embargo, este término no solo se refiere a la vegetación y elementos antrópicos, también hacen referencia a superficies terrestres cubiertos de afloramientos rocosos y cuerpos de agua IDEAM (2012).

Por otro lado el término de "uso" de la tierra, implica la utilidad que puede tener cada tipo de cobertura para el ser humano, este tipo de uso se relaciona con las actividades económicas que el hombre determine sobre el territorio (como uso urbano, agrícola, industrial, reserva natural, recreacional etc.,). IDEAM (2012).

Las coberturas de la tierra, son de gran ayuda para la elaboración de trabajos encaminados a la planeación, gestión y evaluación del territorio, pues evaluar los estados ambientales de dichas coberturas, pueden generar insumos necesarios para la elaboración del POT (Plan de Ordenamiento Territorial), donde se encuentren los insumos y mapas temáticos de riesgo, conflictos de usos del suelo, entre otros. (L. H. García, 2013).

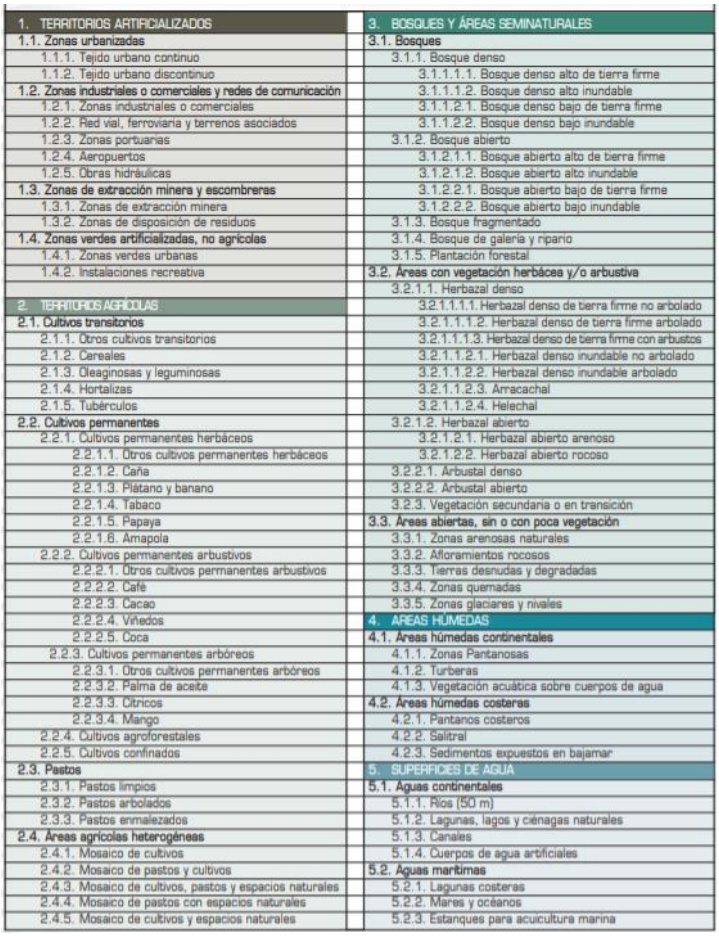
Teniendo en cuenta lo expuesto por L. H. García (2013), el presente trabajo se desarrolla en base a el monitoreo de las coberturas que han sido afectadas por quema, en especial coberturas boscosas. Dentro de los insumos se pueden obtener mapas temáticos desarrollados a partir de la metodología propuesta para la determinación de polígonos de cicatrices de incendios, los cuales son el resultado final del presente trabajo. (Ver Anexos).

3.2.8 Leyenda CORINE Land Cover Colombia

La leyenda nacional para la elaboración del mapa de coberturas de la tierra para Colombia se elaboró a escala 1:100.000, esto de acuerdo a la metodología CORINE (*Coordination of Information On the Environmental*) *Land Cover* la cual se adaptó al país. El propósito de esta leyenda es la de homogenizar las cubiertas biofísicas del territorio, a

partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistidas por cómputo y la generación de bases de datos geográficos. (Ministerio del Medio Ambiente, 2010)

Figura 5 *Leyenda de Coberturas de la Tierra para Colombia*



1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
	3.2.1.1. Herbazal denso
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.2. Cereales	3.2.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.2.3. Arracachal
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.2.4. Helechal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.2. Caña	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.4. Tabaco	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.5. Papaya	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.1.6. Amapola	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.2. Café	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.4. Viñedos	4. ÁREAS HÚMEDAS
2.2.2.5. Coca	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.2. Turberas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.3. Cítricos	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.3.4. Mango	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.2. Salitral
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3. Pastos	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.3.1. Pastos limpios	5.1. Aguas continentales
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.3. Canales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.2. Aguas marítimas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Nota. Tomado de *Leyenda nacional de coberturas de la tierra,* (p.12), por, Ministerio del Medio Ambiente, (2010).

Como se puede apreciar en la Figura 5, la leyenda fue construida a partir de una jerarquización de coberturas de la tierra, donde cada nivel es más detallado que el anterior, los niveles 1 y 2 son los mismos de la leyenda CORINE Land Cover del territorio europeo, mientras que los niveles 3 a 6, en los diferentes grupos de coberturas, varían dependiendo del tipo de la cobertura. (Ministerio del Medio Ambiente, 2010)

Para el caso del presente trabajo, la leyenda se aplicó hasta el tercer nivel, por ejemplo para el caso de bosques, el cual es la cobertura más importante del presente trabajo se tomó la clasificación de la siguiente manera:

3.1 Boques

3.1.1. Bosque denso: El bosque denso se caracteriza por ser una cobertura que representa más de un 70% de elementos arbóreos dentro de una área total de unidad, con alturas de dosel de 5 metros, la característica más importante de esta cobertura es que no ha sido intervenidas por lo tanto su estructura funcional no ha sido afectada. (IGAC, 1999).

3.1.2. Bosque Abierto: Este tipo de bosque está constituido por copas (dosel) discontinuos, donde el área de cobertura esta entre los 30% y 70% del área total de unidad, con alturas superiores a 5 metros (Rodríguez et al., 2017)

3.1.3. Bosque Fragmentado: Este tipo de cobertura se ve afectado por territorios cubiertos por otros tipos de coberturas, como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros. (Rodríguez et al., 2017)

3.1.4. Bosque de galería o ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. (Rodríguez et al., 2017)

3.1.5. Plantaciones Forestales: Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. (Rodríguez et al., 2017)

Para el caso del presente trabajo se adoptó el Mapa de coberturas de la tierra, CORINE Land Cover, periodo (2010-2012), el cual se introdujo dentro de la metodología de cicatrices de incendios propuesta del (CDCol), este mapa cuenta con la leyenda nacional de coberturas de la tierra, para el territorio colombiano. Figura 5.

3.4 Marco Normativo

Constitución Política de Colombia de 1991, en sus principios fundamentales:

> *"Es obligación del Estado y las personas de proteger las riquezas culturales y naturales (Art. 8); el Derecho a un ambiente sano (Art.79); La Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución como deber del Estado (Art 80), así como el deber de todas las personas de proteger los recursos culturales y naturales del país y de velar por la conservación de un ambiente sano. (Art. 95)".* (Rodríguez et al., 2017).

Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974, de la Presidencia de la República de Colombia:

> *"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los Recursos Naturales Renovables, la defensa del ambiente y sus elementos"* (Rodríguez et al., 2017).

Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993 El Congreso de Colombia:

> *"crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA-.La política ambiental orientada bajo los principios universales y del desarrollo sostenible (Art.1) y el concepto de desarrollo sostenible (Art.3)."* (Rodríguez et al., 2017).

Ley 139 de 1994 Incentivo Forestal. "Por la cual se crea el certificado de incentivo forestal y se dictan otras disposiciones". (Rodríguez et al., 2017)

Decreto 1791 de 1996, de la Presidencia de la Republica, "por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal. Decreto 2340 de 1997 Por el cual se reglamenta la gestión sobre la prevención de incendios forestales". (Rodríguez et al., 2017)

Decreto 900 de 1997 "Reglamentación del incentivo forestal con fines de conservación establecidos en la ley 139/94."(Rodríguez et al., 2017)

Ley 1523 de 2012:

> *"Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre y Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. Objetivo General del SNGRD. Llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible"*.(Rodríguez et al., 2017)

Decreto 1077 de 2015 "Parte 2. Titulo 2. Capítulo 2. Ordenamiento del Suelo Rural. Categorías, áreas de conservación y protección ambiental, áreas de producción agrícola y ganadera, interés cultural. Áreas de Amenaza y Riesgo" (Rodríguez et al., 2017).

4. Datos y Metodología

3.1 Área de Estudio

Para el desarrollo del presente trabajo se toma como área de estudio los municipios de Carmen de Apicalá, Suarez, Natagaima, Ataco y Coyaima, para el departamento del Tolima.

3.1.1 Municipio de Carmen de Apicalá

Carmen de Apicalá es un municipio colombiano, ubicado en el departamento del Tolima, dentro de sus características principales se encuentra su naturaleza exuberante y

hermosos condominios campestres, su temperatura promedio es de 28°C, las precipitaciones dentro del municipio son considerables, lo que hace que se presenten breves periodos secos, el municipio está ubicado a unos 300 msnm.(Consejo Municipal para la Gestion del Riesgo de Desastres CMGRD, 2012).

Su extensión en área es de 183 kilómetros cuadrados, de los cuales el 0,36%, del territorio es urbano y el 99,64% es rural, en cuanto a su población de acuerdo al censo del año 2005 en Colombia, el municipio cuenta con un total de 8.394 habitantes. (Consejo Municipal para la Gestion del Riesgo de Desastres CMGRD, 2012).

3.1.2 Municipio de Suarez

El municipio de Suarez está situado en el oriente del departamento del Tolima, está ubicado a 290 msnm, y su temperatura promedio es de 27°C. El municipio cuenta con un área total de 186,7 kilómetros cuadrados, de los cuales 0,38 km^2 corresponden al área urbana y los 186,32 km^2 restantes corresponden a su área rural. Dentro de los escenarios de riesgo por incendios forestales, en la zona norte del municipio se encuentra en alto riesgo debido a que la mayoría de coberturas vegetales son arbustivas, donde se presentan precipitaciones inferiores a 2000mm año. En cuanto a su población se estiman unos 19.690 habitantes. (CMGRD, 2014).

3.1.3. Municipio de Ataco

El municipio de Ataco se encuentra ubicado en la zona sur oriental del Departamento del Tolima, cuenta con un área total de 996.820 kilómetros cuadrados, de los cuales el 0,10% corresponde a área urbana (0,99km2) y el 99,90 % restante corresponde a zona rural (995,82km^2). (Guallichico, 2020).

En cuanto a su población, de acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda (2018), el municipio cuenta con 19.117 habitantes para el año 2020, distribuidas en 14.282 personas localizadas en zona rural (75,71%) y 4.385 personas

localizadas en área urbana (25,29%). Esta distribución poblacional demuestra que el municipio se basa económicamente en actividades agropecuarias. (Guallichico, 2020).

En cuanto a sus condiciones climáticas, el municipio cuenta con una temperatura promedio de 26°C, y una altitud de 446 msnm. (Guallichico, 2020).

3.1.4 Municipio de Natagaima

Natagaima recibió su nombre de acuerdo a su fundador Juan de Borja, en homenaje a sus aliados los indios Natagaima. El municipio está localizado al sur del departamento del Tolima. Su extensión es de 862 kilómetros cuadrados, los cuales se distribuyen en 3,1 km^2 de casco urbano (0,36%) y 858,9 km^2 de zona rural (99,64%). Para diciembre del año 2011, según estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística "DANE" el municipio contaba con 22.869 habitantes, de los cuales 14.543 (63,54%) se ubicaban en la cabecera municipal y 8.346 (36,46%) en el área rural.(Plan Salvaguarda Pijao, 2014).

En cuanto a su clima el municipio presenta una temperatura media de 29°C, posee un régimen de lluvias bimodal, existiendo dos épocas de precipitaciones, divididas por dos épocas de bajas precipitaciones. Para el primer semestre del año, abril y mayo, correspondientes a los meses con mayores precipitaciones, seguidas de los meses de junio a septiembre donde las precipitaciones con menores. El mes de abril es el mes que presenta mayor precipitaciones en el municipio con una promedio de 110 a 230 mm. (Plan Salvaguarda Pijao, 2014)

3.1.5 Municipio de Coyaima

El municipio de Coyaima se encuentra ubicado en el sur del departamento del Tolima, sobre el flanco derecho de la cordillera central, este municipio se sitúa entre los 300 y 1200 msnm. Su extensión es de aproximadamente 667 kilómetros cuadrados, su

cabecera municipal se sitúa a unos 392 msnm, con una temperatura media de 28°C. (PMGRD, 2015)

El municipio cuenta con aproximadamente unos 23.304 habitantes de los cuales 4.783 habitantes se encuentran dentro del casco urbano y 18.521 habitantes distribuidos en la zona rural, la mayoría de los habitantes del municipio pertenecen a comunidades indígenas, cuya organización política es el Cabildo y su materialización legal de su territorio es el Resguardo. PMGRD, (2015)

Las áreas de estudio se determinaron en común acuerdo con el equipo de trabajo del (CDCol). Para el análisis de las zonas de estudio, se tomaron los registros de incendios comprendidos entre los años 2002 hasta el 2018, de acuerdo con los registros presentados por las respectivas corporaciones regionales.

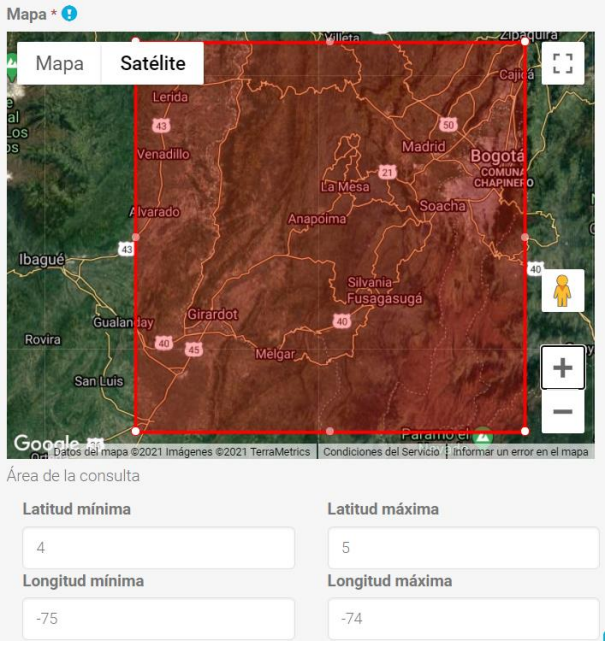
Tabla 4 *Áreas de consulta de acuerdo al (CDCol)*

Municipio	**Área de consulta**			
	Latitud		**Longitud**	
	Mínima	**Máxima**	**Mínima**	**Máxima**
Carmen de Apicalá	4	5	-75	-74
Suarez	4 ; 3	5 ; 4	-75	-74
Coyaima	3	4	-76	-75
Ataco	3	4	-76	-75
Natagaima	3	4	-76 ; 75	-75 ; 74

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

De acuerdo a los tiles, del (CDCol), se puede realizar la consulta de imágenes satelitales para los municipios de estudios de acuerdo a la Tabla 4. Como se puede apreciar los municipios de Suarez y Natagaima requieren la ingesta de dos áreas de estudio pues estos municipios no se pueden encontrar dentro de una sola organización de tiles.

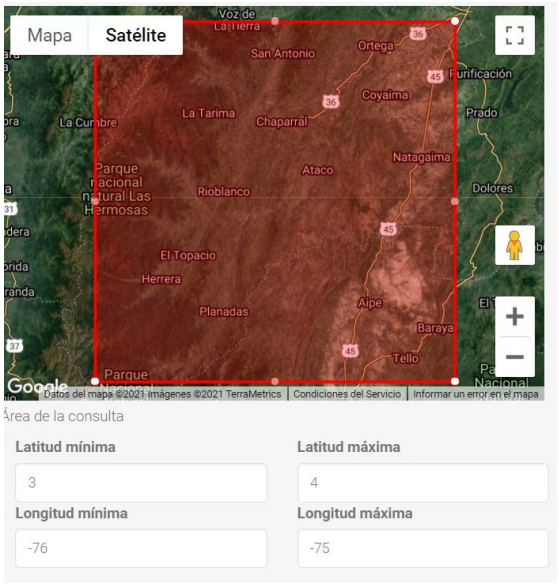
Figura 6 *Área de estudio municipios de Carmen de Apicalá y Suarez*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Figura 6, muestra el área de estudio correspondiente al municipio de Carmen de Ápicala y Suarez.

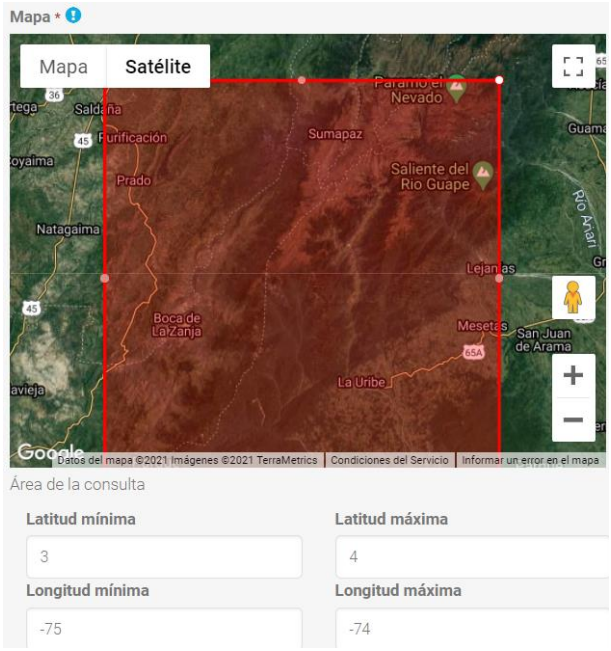
Figura 7 *Área de estudio municipios de Coyaima, Natagaima y Ataco*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Figura 7, es el área de estudio con sus respectivas coordenadas tomadas del (CDCol), para el municipio de Coyaima, Natagaima y Ataco.

Figura 8 *Área de estudio municipios de Natagaima y Suarez*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Para el caso de los municipios de Suarez y Coyaima, fue necesaria la descarga de una tercera imagen satelital, para complementar la información de dichos municipios. Se encuentran en las mismas coordenadas de consulta en el (CDCol). Es por ello que se utiliza las mismas coordenadas para estos dos municipios. Figura 8.

4.2 Datos

Para el análisis de las áreas de estudio, se tomaron los registros de incendios en un periodo comprendido entre los años 2002 -2018, de acuerdo con los registros presentados por las respectivas corporaciones regionales como: Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR), Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), y otras entidades como: la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres

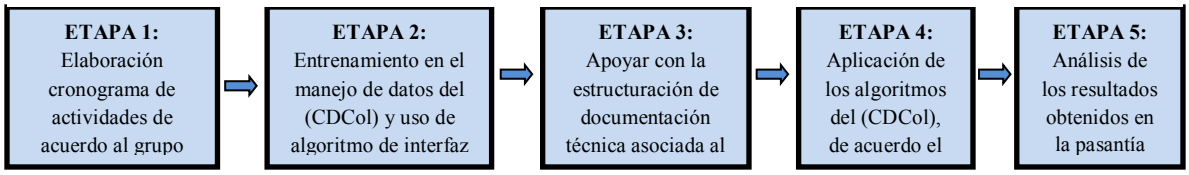
(DGPAD), Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), y la Unidad Nacional Para la Gestión del Riego de Desastres (UNGRD).

Para la realización metodológica de las cicatrices de incendios se siguió la "Guía metodológica para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana", del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". (SINCHI, 2015). Y la aplicación de cada uno de los algoritmos se ejecutó en la página del (CDCol). http://cdcol.ideam.gov.co

4.3 Etapas

La metodología comprende 5 etapas, Figura 9. La primera etapa se basa en la definición del cronograma de actividades con el grupo de trabajo. La segunda etapa es un entrenamiento del uso de la interface web del cubo de datos de imágenes satelitales para Colombia (CDCol). La tercera etapa se basa en la estructuración de documentación técnica asociada a la aplicación de la interface web en la metodología propuesta con el equipo de trabajo. La etapa cuatro es la aplicación de cada uno de los algoritmos necesarios para la realización del presente proyecto. Y la etapa 5 es realizar un análisis de los resultados del presente trabajo.

Figura 9 *Etapas Generales del Proyecto*



Nota: Autor, (2020)

4.3.1 Etapa Uno: Elaboración Cronograma de Actividades de Acuerdo al Grupo de Trabajo (CDCOL)

Esta primera etapa se desarrolló con el fin de establecer un cronograma de actividades, conforme a las necesidades requeridas por la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, sobre el monitoreo de la superficie de bosque y deforestación a nivel nacional y/o regional. En donde se determinó apoyar el grupo de incendios, y revisar fuentes bibliográficas que permitieran desarrollar una metodología para la caracterización de áreas afectadas por conflagración.

4.3.2 Etapa Dos: Entrenamiento en el Manejo de Datos (CDCol) y Uso de Algoritmos de la Interfaz Gráfica (WUI)

Esta segunda etapa se basa en una capacitación del manejo de la interface web y de cada uno de los algoritmos que se encuentran disponibles en el (CDCol). En donde se realizan pruebas de aprendizaje las cuales se descargan desde la misma interface web como ***"Guía Rápida para Analistas"***.
https://raw.githubusercontent.com/OpenDatacubeIDEAM/cdcol/desacoplado/guias/M-GCI-E-G007%20GUIA.pdf

4.3.3. Etapa Tres: Apoyar con la Estructuración de Documentación Técnica Asociada al (CDCol)

La estructuración técnica se desarrolla posterior a la aplicación de los diferentes algoritmos utilizados en la determinación de cicatrices de incendios, donde se explica la aplicación de cada uno de los algoritmos utilizados para el desarrollo del trabajo.

Para la elaboración de este documento técnico, se toma como base la ***"Guía Rápida para Analistas"***. Pues el diseño técnico es muy similar a esta guía, sin embargo,

hay que tener en cuenta que se elabora con relación a la metodología del presente trabajo. Para este caso el título del documento técnico relacionado con el presente trabajo lleva como título ***"Guía metodológica para la determinación de cicatrices de incendios utilizando el (CDCol)".***

Dentro de las diferencias que se pueden encontrar con respecto a la guía base, se encuentran el paso a paso de la ejecución de los algoritmos; **Modelo de Cicatrices de Incendios (RF),** y la ejecución del **Índice Normalizado de Área de Quema (NBR),** los cuales no se encontraban especificados dentro de la guía base, además de la explicación de cada composición para el desarrollo de la metodología propuesta de acuerdo a los algoritmos del (CDCol). Hay que tener en cuenta que dentro de este documento no se habla de "segmentación" debido a que se aplica directamente el algoritmo, **Modelo de Cicatrices de Incendios (RF),**presente en la interface web del (CDCol).

La ***"Guía metodológica para la determinación de cicatrices de incendios utilizando el (CDCol)".*** Se puede consultar en el siguiente link:

https://drive.google.com/file/d/1p8okRcRidQ8rwcvDEodoyHCzqYngExGE/viw

4.3.4. Etapa cuatro: Aplicación de los algoritmos del (CDCol), de Acuerdo Con el Grupo de Trabajo

Los algoritmos aplicados en el cubo de datos obedecen a las necesidades que se tienen de seguir la metodología del SINCHI y su adaptación al (CDCol). Sin embargo es de aclarar que se aplica el algoritmo ***Modelo de cicatrices de Incendios (RF).*** El cual es una herramienta que facilita la determinación de las respectivas cicatrices de incendios, y la cual se compara con la metodología propuesta por el SINCHI.

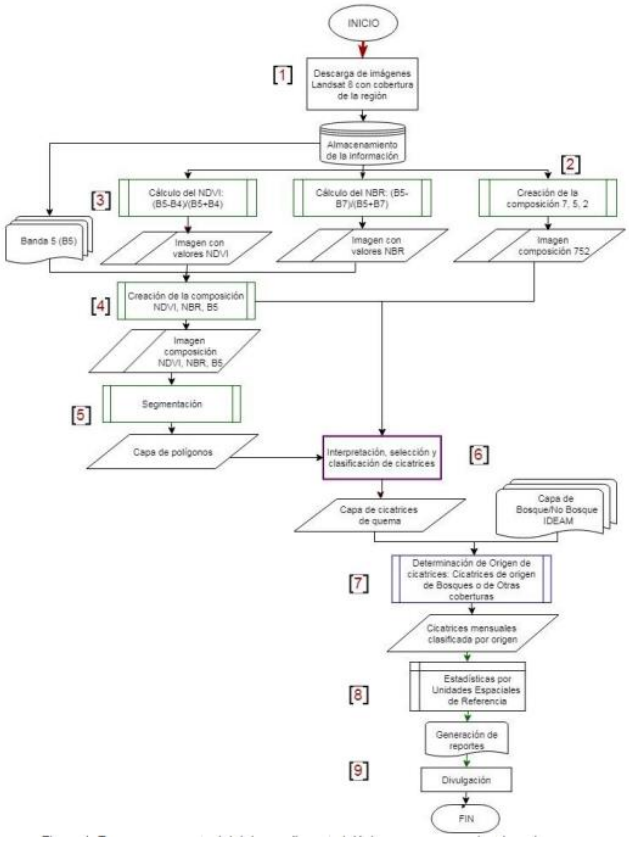
4.3.1.1 Metodología SINCHI.

La metodología del SINCHI, se aplicó de acuerdo a la propuesta de Melchori, et al (2015), la cual ha sido empleada por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil, y adaptada por el SINCHI. Esta metodología se desarrolla a partir de la utilización satelital de Landsat 8, donde se realiza composiciones de bandas espectrales para la determinación de cicatrices de incendios.(Gonzalo et al., 2017)

Esta metodología se puede desarrollar en 9 pasos, que se pueden subdividir en dos bloques fundamentales, el primero es el de los (insumos), los cuales se desarrollan con la descarga y almacenamiento de las imágenes, incluyendo la generación de los respectivos índices, composiciones de bandas, segmentación, e interpretación de cicatrices de quema, y un segundo bloque correspondiente a la clasificación de las cicatrices de quema correspondientes a las coberturas afectadas por conflagración. (Gonzalo et al., 2017).

La Figura 10, muestra la ***"Metodología para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana"***, del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI". El cual sirvió como guía para el desarrollo del presente trabajo.

Figura 10 *Metodología para mapear Cicatrices de Quema*



Nota: Tomado de *cicatrices de quema monitoreo ambiental de la amazonia colombiana*, (p.9), por, Gonzalo et al., (2017).

4.3.1.1.1 Descarga de las Imágenes Landsat 8 Con Cobertura de la Región.

La descarga de imágenes satelitales se realizó con la ayuda del algoritmo, Compuesto temporal libre de nubes del (CDCol). En donde se desarrolló la descarga de las bandas a utilizar las cuales corresponden a las bandas (7, 5,2). Correspondientes a las bandas (SWIR 2, NIR, BLUE), respectivamente.

Tabla 5. *Tabla parámetros de consulta algoritmo CTM*

Ejecución CTM	
Unidad de Almacenamiento	LANDSAT 8
Bandas de Compuesto	Blue, Green,red,nir,swir1,swir2
Latitud mínima	3
Latitud máxima	4
Longitud mínima	- 72
Longitud máxima	- 71
Número mínimo de pixeles	1
Periodo de consulta (desde)	1/1/2016
Periodo de consulta (hasta)	29/02/2016
Normalizado	SI

Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.19) por IDEAM, (2019).

La Tabla 5, ilustra los parámetros a tener en cuenta para la ejecución del algoritmo ***compuesto temporal de medianas***, para este caso la unidad de almacenamiento es de Landsat 8, las bandas de consulta son (5), la longitud y latitud hay que tener en cuenta que el (CDCol), maneja el almacenamiento en tiles, el número de pixeles se maneja por defecto en 1, el periodo de consulta va de acuerdo a las necesidades del ejecutor, y lo normalizado lo da por defecto en algoritmo.

Para ejecución del algoritmo se deben seguir los siguientes pasos:

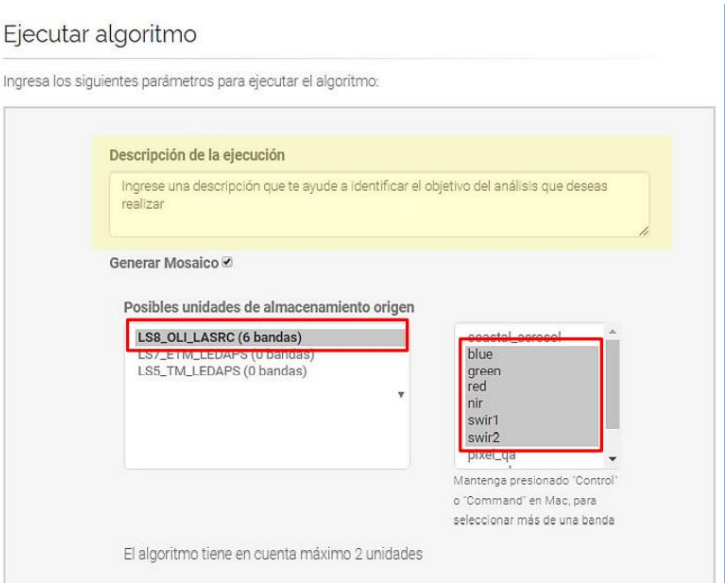
Figura 11 *Selección del algoritmo compuesto temporal de medianas*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.20) por IDEAM, (2019).

Para la selección del algoritmo, se debe dirigir al tipo de ejecución denominado ***Compuesto temporal libre de nubes***, y en algoritmo elegir el de ***compuesto temporal de medianas***.

Figura 12 *Selección de la Unidad de Almacenamiento Para la ejecución del Algoritmo*

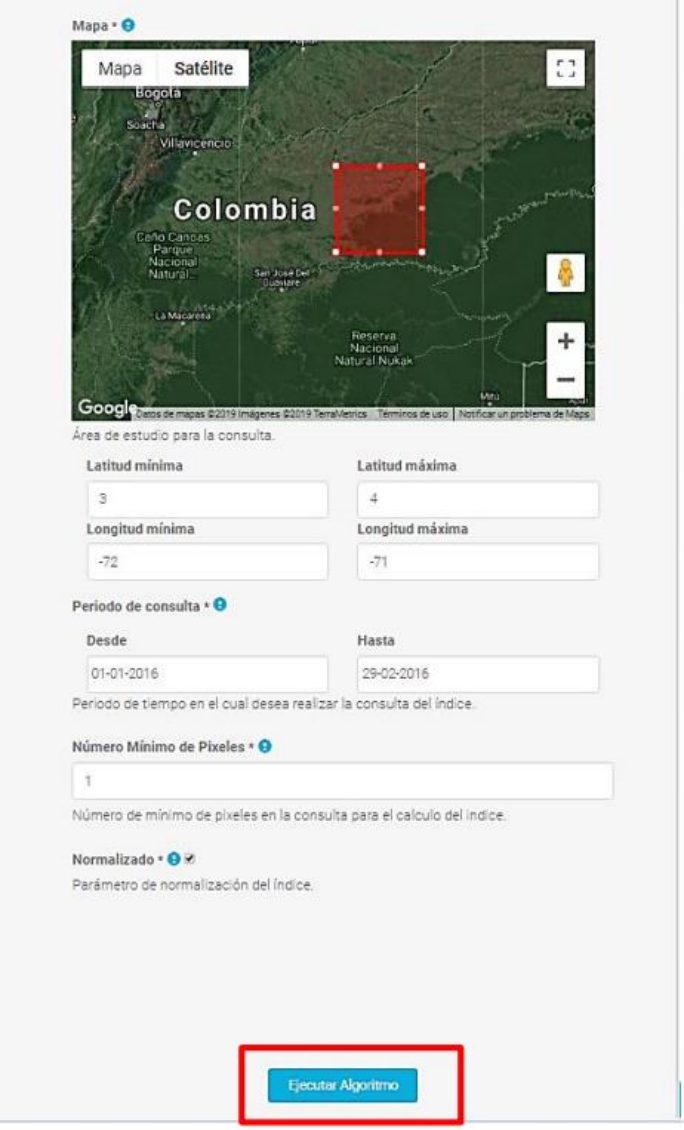


Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.21) por IDEAM, (2019).

Dentro de la misma página de ejecución, como segundo paso se debe escoger las unidades de almacenamiento, Figura 12. Se escogen (5) bandas de las 10 que brinda

Landsat 8. También se presenta un cuadro para realizar una descripción de la ejecución, aunque no es obligatoria, es decir el programa ejecuta el algoritmo sin la necesidad de llenar este espacio, es importante describir la ejecución, y más cuando se realiza más de una ejecución utilizando el mismo algoritmo.

Figura 13 *Área de estudio para la consulta*

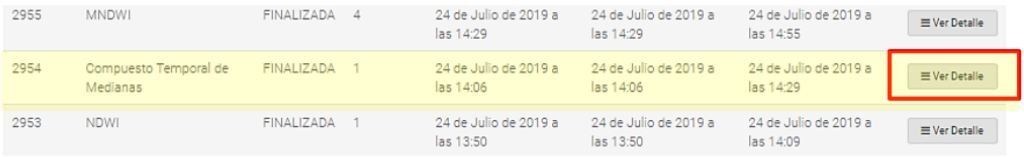


Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.22) por IDEAM, (2019).

El (CDCol), permite determinar el área de estudio de una manera sencilla y práctica, para ello cuenta con un mapa base satelital y muestra el área de interés y

consulta en rojo Figura 13. Las cuales se ajustan de acuerdo a los tiles. También permite determinar un periodo de consulta y por último y complementando cada uno de los pasos permite ejecutar el algoritmo.

Figura 14 *Formulario de finalización de una ejecución*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.23) por IDEAM, (2019).

Una vez ejecutado el algoritmo aparecerá una lista de ejecuciones Figura 14, con un estado de finalizada, es decir se ejecutó correctamente. En caso de que el algoritmo tenga algún problema el estado del mismo será **CON FALLO,** indicando que hay errores en la ejecución del mismo. Una vez se tiene la ejecución se puede proceder a la descarga de la misma.

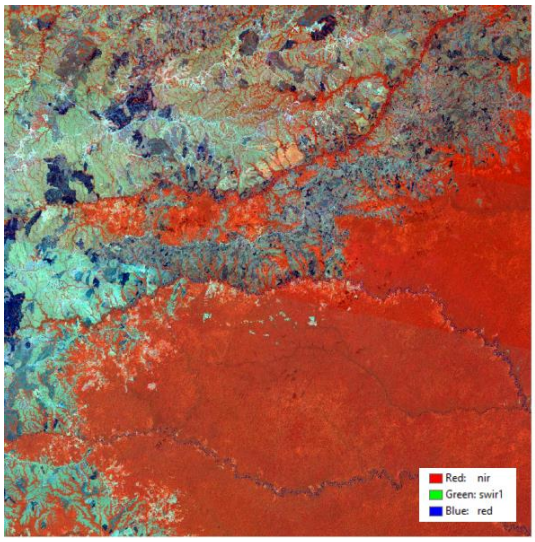
Figura 15 *Descarga de resultados*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.24) por IDEAM, (2019).

La descarga de resultados se encuentra en la parte inferior de los detalles de la ejecución, Figura 15. Se encontraran detalles de la ejecución, la cual es información relacionada con la ejecución seleccionada, además de los parámetros de ejecución, que es la información de los datos entregados al algoritmo para la aplicación del mismo.

Figura 16 *Resultado compuesto temporal de medianas*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.26) por IDEAM, (2019).

Una vez terminada la ejecución, y se haya descargado y almacenado, se pueden apreciar los resultados Figura 16, en cualquier Sistema de Información Geográfica (SIG).

Cabe aclarar que para seguir la guía metodología del SINCHI, se realiza la consulta con cada banda por separado para realizar la posterior composición de las mimas

4.3.1.1.2 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). De acuerdo con Gonzalo et al (2017), el cálculo del índice Normalizado de Vegetación, se realiza con las bandas de infrarrojo IR, y del rojo. Para el caso de Landsat 8 estas corresponden a las bandas 5 y 4 respectivamente. Por lo tanto la fórmula de ejecución del NDVI es:

$$NDVI = \frac{IR\ cercano - Rojo}{IR\ cercano + Rojo} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

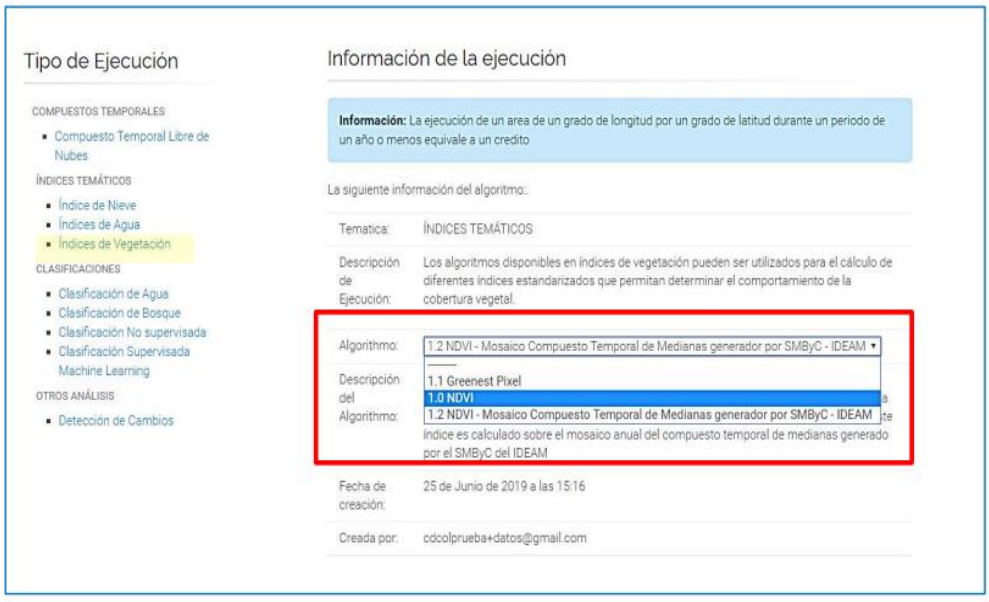
Tabla 6 *Parámetros de consulta algoritmo NDVI*

Ejecución NDVI	
Unidad de Almacenamiento	LANDSAT 8
Bandas de Compuesto	Red , nir
Latitud mínima	3
Latitud máxima	4
Longitud mínima	- 72
Longitud máxima	- 71
Número mínimo de pixeles	1
Periodo de consulta (desde)	1/1/2016
Periodo de consulta (hasta)	29/02/2016
Normalizado	SI

Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.32) por IDEAM, (2019).

De acuerdo a lo expuesto por Gonzalo et al (2017), se calcula este índice de acuerdo con las bandas 5 y 4, es por ello que se escogen las bandas correspondientes (RED,NIR) como se muestra en la Tabla 6.

Figura 17 *Selección del algoritmo NDVI*

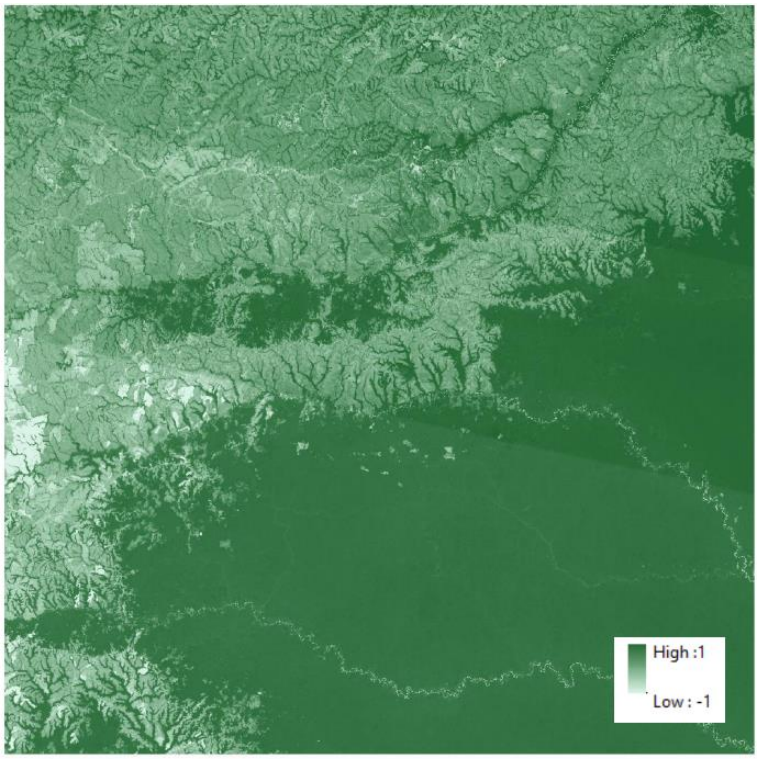


Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.33) por IDEAM, (2019).

Para la selección de este algoritmo en el (CDCol), se selecciona dentro de los índices temáticos, el ***índice de vegetación,*** donde se encuentran una serie de algoritmos, es por ello que se debe seleccionar únicamente el **1.0 NDVI.** Como se muestra en la Figura 17.

Paso siguiente se tienen en cuenta los mismos parámetros descritos con el algoritmo compuesto temporal de medianas, sin embargo, hay que tener en cuenta que solo se seleccionan dos unidades de almacenamiento de Landsat 8. (RED, NIR).

Figura 18 *Resultado ejecución algoritmo NDVI*



Nota. Tomado de *guía rápida CDCol para analistas* (p.37) por IDEAM, (2019).

Una vez ejecutado el algoritmo, descargado el archivo, los resultados se podrán evidenciar dentro de un SIG. Como se muestra en la Figura 18.

4.3.1.1.3 Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR).

De acuerdo con Gonzalo et al (2017), el NBR, sirve para resaltar las áreas que se han quemado, al igual que su magnitud e intensidad de la quema. Para el caso de

Landsat 8 se emplean las bandas de SWIR cercano y la banda de SWIR lejano, las cuales corresponden a las Bandas 5 y 7. La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$NBR = \frac{IR\ cercano - IR\ lejano}{IR\ cercano + IR\ lejano} = \frac{B5 - B7}{B5 + B7}$$

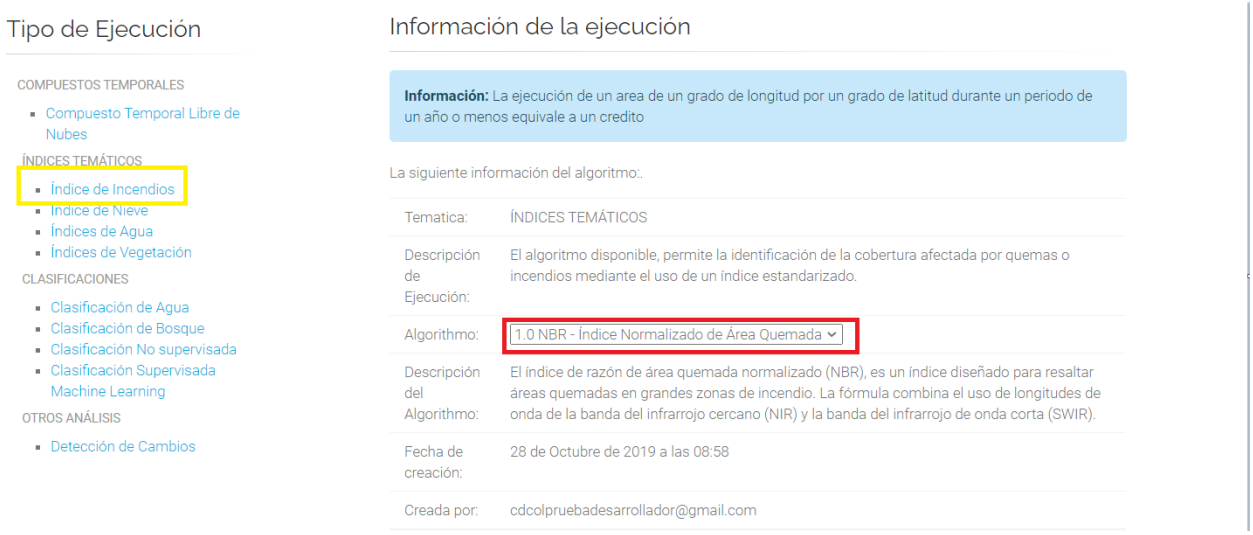
Tabla 7 *Parámetros de consulta NBR*

Ejecución NBR	
Unidad de Almacenamiento	LANDSAT 8
Bandas de Compuesto	swir1,swir2
Latitud mínima	3
Latitud máxima	4
Longitud mínima	- 75
Longitud máxima	- 76
Número mínimo de pixeles	1
Periodo de consulta (desde)	1/07/2015
Periodo de consulta (hasta)	30/09/2015
Normalizado	SI

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Teniendo en cuenta lo expuesto por Gonzalo et al, (2017), se toman las bandas correspondientes para el cálculo del NBR, dentro del (CDCol) correspondientes a las bandas Swirs1, Swirs2, o bandas 5 y 7.

Figura 19 *Selección del algoritmo NBR*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Para la selección del NBR, se busca el índice temático del (CDCol), ***Índice de incendios***, luego se procede a seleccionar el algoritmo correspondiente **1.0 NBR-Índice Normalizado de Área Quemada.** Figura 19.

Paso siguiente se tienen en cuenta la misma metodología descrita para la ejecución de compuestos temporal de medianas. Teniendo en cuenta que se deben ejecutar las bandas **Swirs1, Swirs2.**

Los ejemplo de la ejecución del **1.0 NBR-Índice Normalizado de Área Quemada**. Se pueden ver en los resultados obtenidos del presente trabajo.

4.3.1.1.4 Creación de la Composición Bandas (7, 5,2).

La composición de bandas se realiza posteriormente a la descarga de las ejecuciones del algoritmo Compuesto temporal de medianas. En donde se realiza la composición de estas tres bandas través de un Software SIG.

La realización de esta composición tiene como objetivo la obtención de imágenes con contrastes de vegetación sana, con respecto a vegetación que presenta colores de pixel de tonalidades oscuras, siendo marrón y rojo las que se asemejan a

posibles cicatrices de incendios.(Gonzalo et al., 2017).El producto de esta composición se puede apreciar en el análisis de los resultados del presente trabajo, además se puede apreciar el ejemplo y resultados obtenidos de la composición.

4.3.1.1.5 Creación de la Composición (NDVI, NBR, Banda 5).

Esta composición se realiza con respecto a los resultados de los índices ejecutados desde el (CDCol), los cuales corresponden al NDVI, NBR y B5, los cuales fueron descritos anteriormente. Una vez descargadas las ejecuciones y estén almacenadas se procede a desarrollar la composición a través de un Software SIG.

Esta composición ayuda al análisis de cicatrices de quema, gracias al producto de la composición de estas tres bandas. Esta permite la diferenciación de coberturas como nubes, cuerpos de agua y sombras de nubes, las cuales son errores muy recurrentes cuando se cartografía cicatrices de incendios solo con la implementación del NBR. (Gonzalo et al., 2017). El producto de esta composición se puede apreciar en el análisis de los resultados del presente trabajo, además se puede apreciar el ejemplo y resultados obtenidos de la composición.

4.3.1.1.6 Segmentación.

La segmentación es una técnica que permite la clasificación de objetos, que presentan similitudes espectrales, para el caso de las imágenes de satélite, esta segmentación se realiza con el fin de tomar segmentos con similitud de pixeles. (Vicente & Carmen, 2016), para el caso de la determinación de cicatrices de incendios, la similitud de pixeles se desarrolla a partir de los resultados obtenidos producto de las composiciones anteriormente descritas. Para el desarrollo de la segmentación se sugiere cualquier software capaz de ejecutar dicho algoritmo de segmentación, para este caso, se utilizó el programa eCognition, cuyo algoritmo de segmentación es Multiresolution-segmentation.

Posterior a el desarrollo de la segmentación se ejecuta la clasificación supervisada de coberturas, a través del algoritmo *Clasification*, cuyos rangos de

clasificación los determina el ejecutor, sin embargo, se recomiendan varias clasificaciones, pues entre mayor número de clasificaciones mejores van a ser los resultados. Para este caso se tomaron las siguientes clasificaciones: (Agua, Bosque, Cicatrices, cultivos, herbazales, pastos, sin clasificar, zona urbana.)

Con base en los resultados obtenidos del presente trabajo, la segmentación se realiza a partir de la creación de la composición (NDVI, NBR, B5), el cual arrojo mejores resultados. El producto de esta segmentación se puede apreciar en el análisis de los resultados del presente trabajo, además se profundiza sobre la aplicación de los diferentes algoritmos utilizados desde el programa eCognition.

4.31.1.7. Capa de Polígonos.

La capa de polígonos se genera a partir de una clasificación supervisada. La cual permite realizar una clasificación de coberturas las cuales ayudan a la interpretación y clasificación de las cicatrices de incendios. Para el caso de los resultados obtenidos con la segmentación y clasificación de coberturas, el programa eCognition, permite la exportación de resultados de formato Raster a Vector, siendo de gran utilidad pues, los resultados de pueden consultar y trabajar a través de cualquier software SIG.

4.3.1.1.8 Interpretación, Selección y Clasificación de Cicatrices

La interpretación, selección y clasificación de cicatrices se hace posteriormente a la clasificación supervisada, y a la consolidación de la capa de polígonos, esta interpretación se puede realizar con la sobre posición de capas, producto de las composiciones realizadas en los pasos anteriores (7, 5,2) y (NBR, NDVI, B5), la selección se basa en solo dejar los polígonos “cicatrices de incendios” eliminando los demás polígonos que no son de interés. Esta selección y clasificación se puede realizar eliminando las clasificaciones de acuerdo a la complejidad de interpretación de las mimas, para ello se sugiere tomar los polígonos con las coberturas de menor complejidad como los son: (Agua, Bosque, herbazales, pastos, sin clasificar, zona urbana.), para poder enfocar la clasificación con los polígonos más complejos de interpretar (Cicatrices, cultivos.). La cobertura de cultivos puede tener niveles de pixel

con similitud a los polígonos de cicatrices de incendios. Es por ello que se requiere tener un nivel de interpretación y selección más preciso con este tipo de cobertura.

4.3.1.1.9 Determinación de Cicatrices Por Coberturas.

Gonzalo et al (2017), sugiere sobre poner el mapa de bosque no bosque del IDEAM con las capa de polígonos de cicatrices de incendios, pues uno de los objetivos de la metodología, es determinar la cantidad de hectáreas de bosque que se pierden por quema. Sin embargo, se propone también determinar las demás coberturas que se pierden por incendios. Para ello, se propone realizar la sobre posición del mapa de coberturas de la tierra Corine Land Cover, con la capa de polígonos de cicatrices de incendios.

El mapa de coberturas de tierra, debe estar acorde al periodo de consulta de las imágenes satelitales, para el presente trabajo se desarrollaron las consultas para el año 2015, por ello el Mapa de coberturas de la tierra se tomó para periodo (2010-2012). Este mapa se tomó desde el catálogo de mapas del IDEAM a través de la página web: http://www.ideam.gov.co/capas-geo.

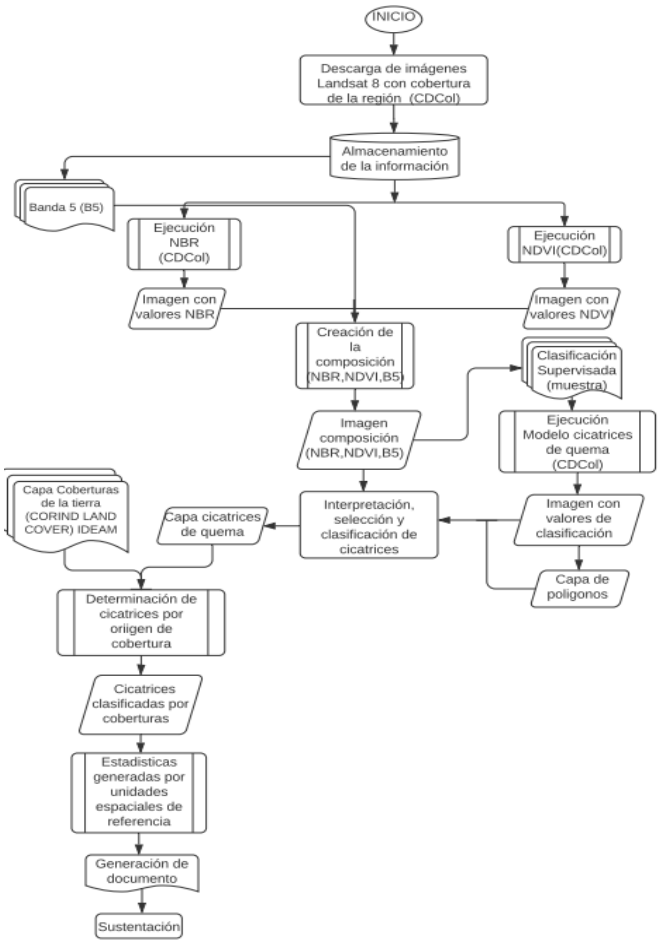
4.3.1.1.10 Generación de Estadísticas Por Unidad Espacial de Referencia.

Las estadísticas estarán centradas en las coberturas afectadas, una vez se tengan las capas de polígonos de cicatrices de incendios. Dentro de estas estadísticas, se evaluara principalmente las coberturas de bosque que han sido afectadas por quema. Teniendo en cuenta que se calculara la cantidad total por coberturas afectadas, también se plantea evaluar la cobertura más afectada en cada uno de los municipios y evaluar de manera general en que porcentaje se han visto afectadas cada una de las coberturas. Así mismo dentro de los análisis, se tendrán en cuenta la metodología SINCHI, y la metodología propuesta (CDCol), con el propósito de evaluar las ventajas y desventajas de cada una de ellas, las cuales se pueden apreciar en el análisis de resultados.

4.1.1.2 Metodología Propuesta (CDCOL).

La metodología propuesta de cicatrices de incendios, sigue algunos principios expuestos por la metodología SINCHI, sin embargo esta se adaptó a la implementación de (CDCol). Es por ello que se sugiere la siguiente metodología. Figura 20.

Figura 20 *Metodología Cicatrices de Incendio (CDCol)*



Nota: Autor, (2020)

De acuerdo a la metodología propuesta, y siguiendo la del SINCHI, se puede observar que se elimina el paso de la composición de las bandas (7,5,2). Y se agrega a la metodología, el algoritmo del (CDCol) "Modelo de cicatrices de quema". El cual se complementa con una clasificación supervisada y la composición (NBR, NDVI, B5). Esta clasificación hace que también se elimine la segmentación propuesta por el SINCHI. En cuanto a la clasificación de las coberturas afectadas se toma la capa de

cobertura de la tierra, con base en la metodología CORIND LAND COVER. Es decir la capa propuesta por el SINCHI, de Bosque No Bosque, también se suprime de la metodología propuesta del (CDCol). Por último la metodología del SINCHI, realiza una clasificación mensual de cicatrices, teniendo en cuenta que en el proyecto, se van a tomar las cicatrices dentro de un periodo comprendido entre julio – Octubre del año 2015, esta clasificación mensual también se suprime y se ajusta a las necesidades de la metodología propuesta del (CDCol.)

4.1.1.2.1 Ejecución Modelo de Cicatrices de Quema (RF), (CDCol)

La ejecución del modelo de Cicatrices de Quema, del (CDCol), es uno de los pasos más importantes para la elaboración de las cicatrices de incendios, pues es un algoritmo que permite realizar una clasificación supervisada a partir de parámetros establecidos por el ejecutor. Para este caso se toma el resultado de la imagen ráster producto de la composición (NBR, NDVI, B5). La cual es la base para tomar la clasificación supervisada como "muestra", para la ejecución del algoritmo en el (CDCol). Cabe aclarar que esta clasificación se determinó con base en la clasificación supervisada que se realiza para el algoritmo Random Forest (RF). Del (CDCol).

Para la ejecución del modelo se cicatrices de quema requiere de un proceso diferente al de otros algoritmos que se puedan ejecutar en el (CDCol).

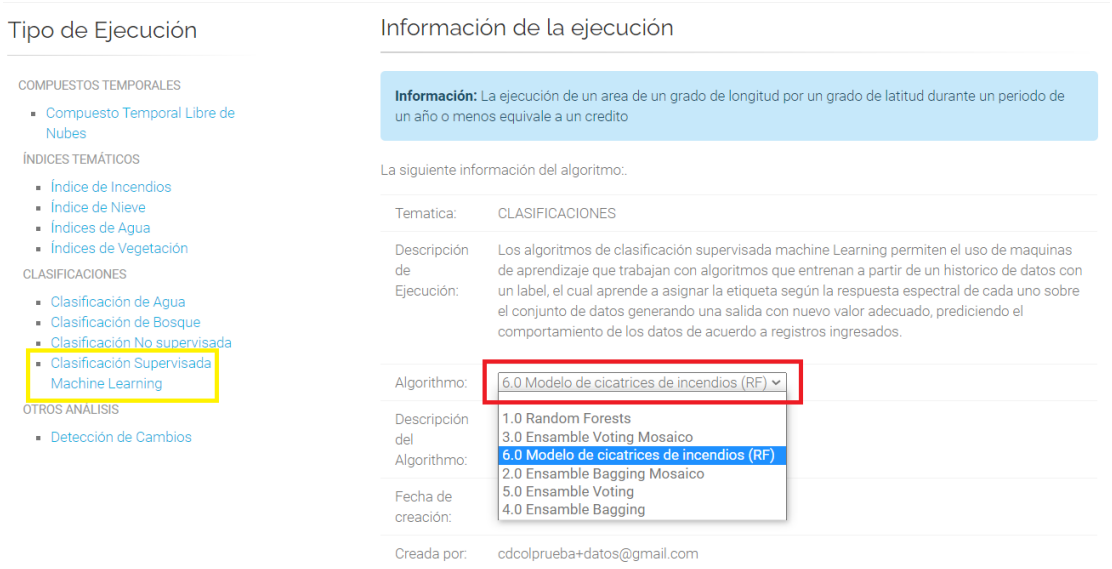
Tabla 8 *Parámetros de consulta Modelo de cicatrices de incendios*

Ejecución Modelo Cicatrices de Incendios	
Unidad de Almacenamiento	LANDSAT 8
Bandas de Compuesto	Blue, Green,red,nir,swir1,swir2
Latitud mínima	3
Latitud máxima	4
Longitud mínima	- 75
Longitud máxima	- 76
Número mínimo de pixeles	1
Periodo de consulta (desde)	1/07/2015
Periodo de consulta (hasta)	30/09/2015
Normalizado	SI

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Como se puede observar en la Tabla 8, surge un nuevo parámetro, este es el modelo o muestra que requiere el algoritmo para que este pueda ser ejecutado, esta muestra es una clasificación supervisada, que se encuentra en formato Shape de puntos. Los cuales se describirán en los análisis del respectivo documento.

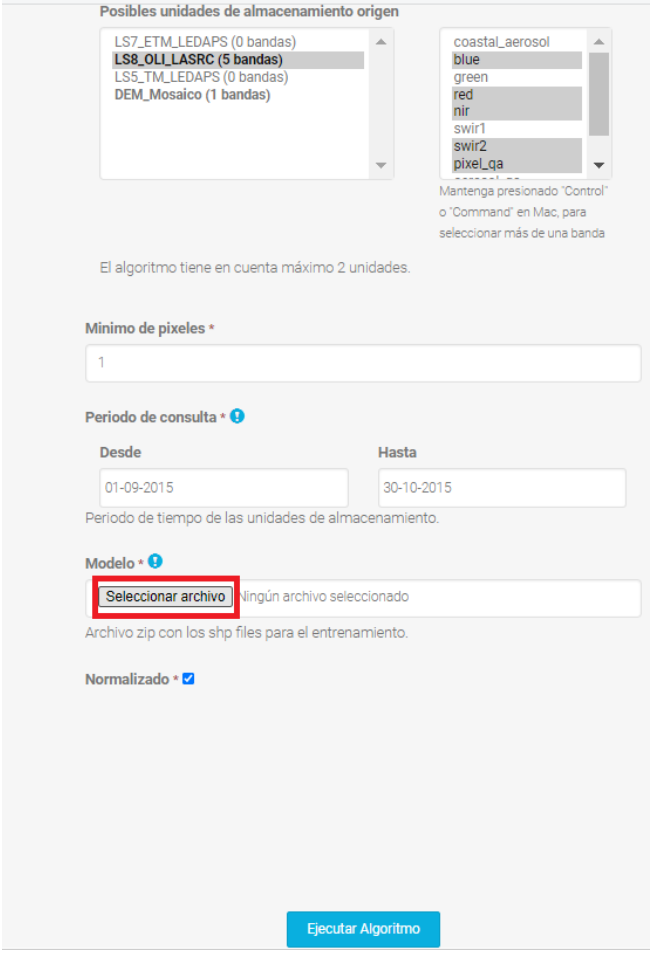
Figura 21 *Selección del algoritmo Modelo cicatrices de incendios (RF)*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

El modelo de cicatrices de incendios, se encuentra en la ***clasificación Supervisada Machine Learning del (CDCol).*** Allí se pueden apreciar cada uno de los algoritmos que funcionan con un modelo de registro, que tienen que ser adjuntados al modelo, es decir los resultados no solo dependen de ejecutar adecuadamente el algoritmo, si no que depende también de la información suministrada al algoritmo. Para este caso se selecciona ***6.0 Modelo de Cicatrices de Incendios (RF).*** Figura 21.

Figura 22 *Selección de archivo ZIP como Modelo*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Como se pude observar en la Figura 22, el algoritmo cuenta con un nuevo parámetro de ejecución, en comparación con los descritos anteriormente, para este caso se debe realizar la clasificación supervisada en formato Shape. Y se debe subir el archivo al (CDCol) como un archivo comprimido ZIP. Este archivo funciona dentro de la nube de datos del respectivo algoritmo el cual desarrolla la ejecución del mismo, con los rangos de clasificación adjuntados por el ejecutor.

El producto de la ejecución del algoritmo se puede observar en los resultados del presente trabajo. Al igual que la clasificación realizada para la ejecución del modelo.

4.3.5. Etapa cinco: Análisis de los Resultados Obtenidos de la Pasantía

El análisis de los resultados estará acompañada de un documento final que se desarrollara con base a los resultados obtenidos con el equipo de trabajo, además se deben tener en cuenta los algoritmos utilizados y disponibles con los que cuenta el (CDCol).

La elaboración del documento contempla dar respuesta a la pregunta planteada en el presente anteproyecto haciendo énfasis a la evaluación ambiental de acuerdo a los resultados esperados y el análisis de los factores que inciden en los cambios de coberturas por conflagración.

5. Resultados y Análisis

4.1 Etapa Uno: Elaboración Cronograma de Actividades de Acuerdo al Grupo de Trabajo (CDCOL)

Tabla 9. *Cronograma de actividades*

Actividad	Inicio	Final
Elaboración cronograma y plan de trabajo con el equipo de Cubo de datos (CDCol).	28/10/2020	4/11/2020
Aprendizaje del uso de la herramienta CDCol. Y definición del tema de estudio para el ejercicio practico	30/10/2020	30/10/2020
Elaboración de contenido y recursos con fines académicos, haciendo uso de la interfaz web y de los datos obtenidos como resultado de procesos del (CDCol).	4/11/2020	18/11/2020
Apoyar, **de ser necesario**, la descarga de imágenes satelitales para su ingesta en el (CDCol). Siguiendo el protocolo metodológico para tal fin.	N.A	N.A

Apoyar en la estructuración de la documentación técnica asociada al uso y manejo del cubo de datos de Imágenes de Satélite para Colombia (CDCol).	20/11/2020	20/12/2020
Aplicación de los algoritmos del (CDCol), de acuerdo a el grupo de trabajo	19/10/2020	27/11/2020
Realizar un documento final que contenga el análisis de los resultados obtenidos con un énfasis ambiental de acuerdo a los algoritmos utilizados del (CDCol).	20/11/2020	20/02/2021

Nota: la tabla representa el cronograma de actividades realizadas con el equipo de trabajo. No aplica "N.A" son actividades no desarrolladas. Autor, (2020)

La Tabla 9, es el acuerdo que se tiene con el equipo de trabajo, a continuación se describe el desarrollo de cada una de las actividades:

Para la elaboración del plan de trabajo, se determina como primer paso apoyar al equipo de incendios, en una dinámica relacionada con determinación de cicatrices de incendios, para ello se determinó seguir la "*Guía metodológica para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana"*. Y complementar tal metodología con los algoritmos que ofrece el (CDCol).

Dentro de la elaboración del plan de trabajo también se determinaron las temporalidades que se manejarían y los municipios sobre los que se aplicaría dicha metodología.

Tabla 10 *Temporalidades de Consulta*

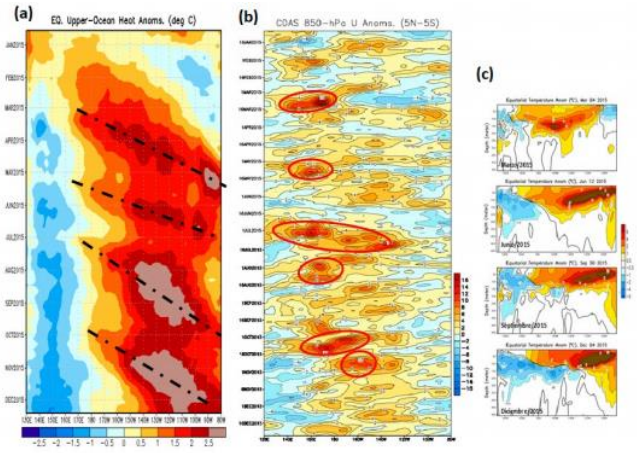
Departamento del Tolima	**Periodo de consulta**	
Municipios	**Desde**	**Hasta**
Ataco	1/07/2015	30/09/2015
Carmen de Apicalá	1/07/2015	30/09/2015
Coyaima	1/07/2015	30/09/2015
Natagaima	1/07/2015	30/09/2015
Suarez	1/07/2015	30/09/2015

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Para la identificación de los municipios y el periodo de consulta de los mismos, se tiene en cuenta el consolidado de incendios del departamento del Tolima. En cuanto a los periodos, se tiene que tener en cuenta que este periodo es seco, por lo tanto en estos periodos se presentan la mayor parte de incendios forestales dentro del departamento. También cabe recordar que en el año 2015 se presentó el fenómeno del niño. Según Martínez et al (2017), este fenómeno del niño se presentó por muchas actividades de las componentes zonales (Sentido este-oeste), de los vientos ecuatoriales, lo cual fue seguido por una serie de ondas kelvin de gran magnitud lo cual arrastro grandes olas de calor sobre el occidente y oriente del pacifico, afectando principalmente a toda Sudamérica.

En cuanto a su temporalidad siguiendo con lo expuesto por Martínez et al (2017), estas anomalías de vientos de 16m/s ocurrieron en marzo, lo que hizo que las primeras ondas kelvin se desplazaran por el pacifico hasta llegar a la costa de América del sur a finales del mes de abril. Esto hizo que se presentaran un calentamiento de hasta 3°C en la superficie superficial del mar. Este trasporte de calor hizo que la capa superficial del océano pacifico ya en marzo evidenciara una región cálida con más de 4°C de lo normal. (Martínez et al., 2017).

Figura 23 *(a) Anomalía del contenido de calor en la capa superior del Océano Pacífico ecuatorial para el año 2015. (b)Anomalía de la componente zonal de los vientos (m/s) en la capa 850 hPa sobre el Pacífico ecuatorial para el año 2015. (c) Anomalía de la capa de la temperatura superficial en el pacifico ecuatorial para los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre del año 2015*



Nota: Tomado de *evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina*, por, Martínez et al., (2017).

5.2 Etapa Dos: Entrenamiento en el Manejo de Datos (CDCol) y Uso de Algoritmos de la Interfaz Gráfica (WUI)

Para aprender sobre la herramienta (CDCol), se puede seguir la "Guía rápida (CDCol) para analistas", cuyo objetivo de la misma es "enseñar a los analistas como explorar y usar el contenido de las unidades de almacenamiento, el banco de algoritmos definidos por el portal web, y los parámetros de ejecución de los algoritmos, así como también a realizar el monitoreo de la ejecución, la descarga de resultados y la calificación de los resultados de la ejecución". (IDEAM, 2015).

Esta guía se puede consultar a partir del siguiente link: ***"GUÍA RÁPIDA (CDCol) PARA ANALISTAS":***
https://raw.githubusercontent.com/OpenDatacubeIDEAM/cdcol/desacoplado/guias/M-GCI-E-G007%20GUIA.pdf

5.3 Etapa Tres: Apoyar con la Estructuración de Documentación Técnica Asociada al (CDCol)

Esta tercera etapa se puede componer de dos formas:

Elaboración de contenido y recursos con fines académicos, haciendo uso de la interfaz web y de los datos obtenidos como resultado de procesos del (CDCol). Y Apoyo en la estructuración de la documentación técnica asociada al uso y manejo del cubo de datos de Imágenes de Satélite para Colombia (CDCol).

Para las primeras partes, el contenido del curso con fines académicos, se programó de acuerdo con el grupo de trabajo del IDEAM, en la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Dentro de un compromiso de implementar contenido al **Proceso de Gestión de Datos e Información Geográfica Ambiental del IDEAM.** El cual es una plataforma que permite capacitaciones e información educativa, la cual se puede acceder desde el siguiente link: http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/

Como aporte a este contenido virtual se elabora el siguiente contenido:

- Principios de teledetección
- Fundamentos físicos y características de datos
- Características de los sistemas de teledetección
- Nociones y familiarización con la lectura de imágenes de sensores remotos
- Gestión de un proyecto de teledetección
- Ajustes geométricos y radiométricos.

Cuyo objetivo es el de explicar cada uno de los componentes que integran un sistema de teledetección, así mismo, la funcionalidad de la teledetección en diferentes áreas. Además de desarrollar y estructurar, contenido virtual, que permita evidenciar la importancia de la teledetección, como herramienta de análisis de imágenes satelitales.

Como segunda parte, el apoyo a la estructuración de la documentación técnica asociada al uso y manejo del cubo de datos de Imágenes de Satélite para Colombia (CDCol).La documentación técnica, es el paso a paso de la ejecución de cada uno de los algoritmos utilizados para el desarrollo de la determinación de cicatrices de incendios. Sin embargo como se puede observar en la "Guía rápida (CDCol) para analistas". Muchos de estos algoritmos ya han sido explicados, por lo que esta guía técnica se centrara en la metodología propuesta por el (CDCol). La cual será entregada al grupo de trabajo de (CDCol). Como herramienta y guía para la ejecución la metodología mencionada.

Este documento técnico se puede consultar a partir del siguiente link:"***Guía metodológica para la determinación de cicatrices de incendios utilizando el (CDCol)"***

https://drive.google.com/file/d/1p8okRcRidQ8rwcvDEodoyHCzqYngExGE/view

5.4 Etapa Cuatro: Aplicación de los Algoritmos del (CDCol), de Acuerdo Con el Grupo de Trabajo

La Tabla 11. Enlista los algoritmos ejecutados en el (CDCol). Para la determinación de cicatrices de incendios.

Tabla 11 *Algoritmos ejecutados en el (CDCol)*

CDCol. IDEAM	
Tipo de ejecución	**Algoritmo**
Compuesto Temporal Libre de Nubes	Compuesto temporal de medianas
Índice de Incendios	NBR
Índices de Vegetación	NDVI
Clasificación de Bosque	Bosque-No Bosque
Clasificación Supervisada *Machine Learning*	Modelo de cicatrices de incendios (RF)

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

5.4.1 Descarga de las Imágenes Landsat 8 Con Cobertura de la Región

Como se había descrito anteriormente, la descarga de imágenes Landsat 8, se desarrolló con la ayuda del algoritmo ***compuesto temporal de medianas***, para dar desarrollo a la ***"metodología para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana"*** **SINCHI.**

La descarga de imágenes de satélite se desarrolló por cada una de las bandas, con las que se realizaría la composición (7, 5,2), es decir dentro de las unidades de almacenamiento de Landsat 8, el algoritmo se ejecutó por separado.

Tabla 12 *Información de ejecución, algoritmo compuesto temporal de medianas*

Información CTM	
Código de la ejecución:	6146
Tipo de Ejecución:	Compuesto Temporal Libre de Nubes
Algoritmo:	Compuesto Temporal de Medianas
Versión:	1.0
Estado:	FINALIZADA
Créditos Consumidos:	1
Fecha de Creación:	19 de Noviembre de 2020 a las 16:04
Inicio ejecución:	19 de Noviembre de 2020 a las 16:04
Fin ejecución:	19 de Noviembre de 2020 a las 16:15
Creada por:	cfcabiativas@correo.udistrital.edu.co
Descripción:	BLUE

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Como podemos observar la Tabla 12, describe la ejecución correspondiente a la descarga de la imagen de la banda azul (Banda 2).

Tabla 13 *Parámetros de ejecución, algoritmo compuesto temporal de medianas*

Parámetros CTM	
Genera Mosaico:	True
Unidades de Almacenamiento:	LS8_OLI_LASRC:blue
Área (Latitud mínima):	4
Área (Latitud máxima) :	5
Área (Longitud mínima) :	-75
Área (Longitud máxima) :	-74
Periodo de Consulta:	2015-07-01 - 2015-08-01
Número Mínimo de Pixeles:	1
Normalizado:	True

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Dentro de los parámetros de ejecución, podemos observar con las latitudes y longitudes de la imagen Landsat 8, las cuales corresponden a las unidades de almacenamiento del (CDCol) "tiles", dentro de esta grilla por así decirlo, se encuentran los municipios de Carmen de Apicalá y Suarez, como se describió en el área de estudio.

5.4.2. Cálculo del Indicé de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Para la ejecución de este algoritmo el (CDCol), cuenta con el algoritmo llamado NDVI. El cual permite ejecutar el índice con base a la guía metodológica para tal fin. Este índice se basa en el comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionando la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta. (Días, 2015).

Tabla 14 *Información de la ejecución, Algoritmo NDVI*

Información NDVI	
Código de la ejecución:	6219
Tipo de Ejecución:	Índices de Vegetación
Algoritmo:	NDVI
Versión:	1.0
Estado:	FINALIZADA
Créditos Consumidos:	1
Fecha de Creación:	21 de Noviembre de 2020 a las 10:30
Inicio ejecución:	21 de Noviembre de 2020 a las 10:30
Fin ejecución:	21 de Noviembre de 2020 a las 10:45
Creada por:	cfcabiativas@correo.udistrital.edu.co
Descripción:	NDVI

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Con la ejecución de cada uno de los algoritmos del (CDCol), dentro de los ***detalles de ejecución*** podemos encontrar la información relacionada del algoritmo ejecutado, para este caso el NDVI, donde afirma que se ejecutó correctamente.

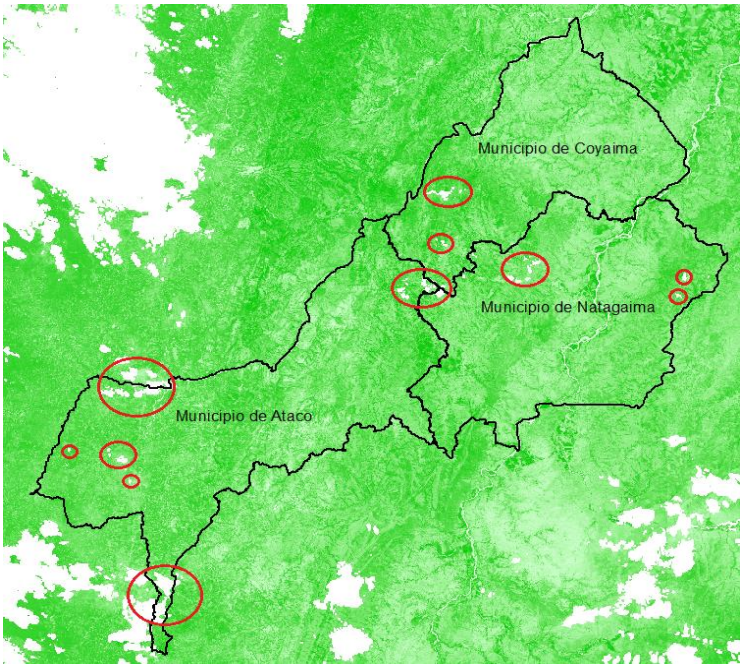
Tabla 15 *Parámetros de la ejecución, algoritmo NDVI*

Parámetros NDVI	
Genera Mosaico:	True
Unidades de Almacenamiento:	LS8_OLI_LASRC:red,nir,pixel_qa
Área (Latitud mínima):	4
Área (Latitud máxima) :	5
Área (Longitud mínima) :	-75
Área (Longitud máxima) :	-74
Periodo de Consulta:	2015-09-02 - 2015-10-01
Número Mínimo de Pixeles:	1
Normalizado:	True

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Tabla 15, muestra los parámetros de ejecución, se puede observar las bandas Landsat 8, que se ejecutaron, periodo de consulta y coordenadas, las cuales resultan útiles para verificar que se ejecutó correctamente el algoritmo.

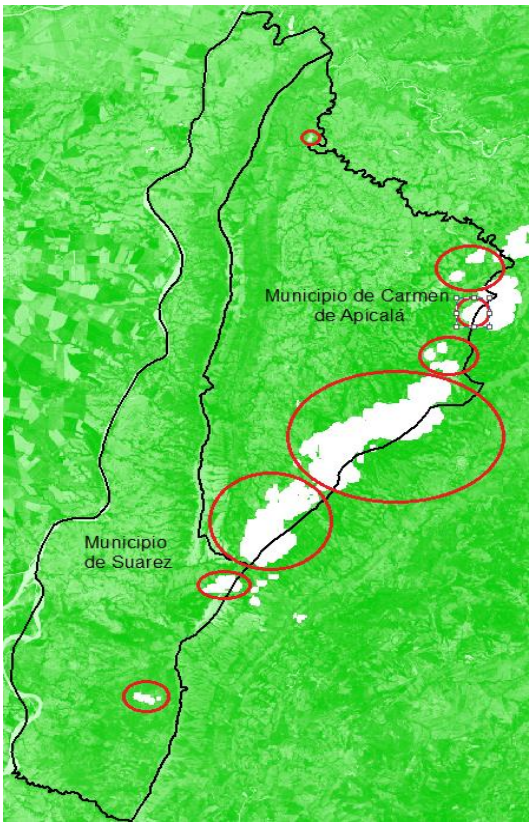
Figura 24 *Resultados NDVI: Municipios de Ataco, Coyaima y Natagaima*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Como se puede observar en la Figura 24, se presentan áreas sin información, las cuales se presentan en color blanco, las áreas que se presentan dentro de los municipios están demarcadas con círculos de color rojo. Uno de los problemas de acuerdo a Rodriguez et al, (2017), son las imágenes con nubosidad las cuales son un problema para determinar cualquier tipo de teledetección que se quiera realizar. Para el caso de estudio no representan ningún problema pues el área sin información resulta insignificante, sin embargo hay que tener en cuenta la información satelital disponible para un periodo determinado, por ejemplo esta imagen se consultó para el periodo comprendido entre el 1 de julio hasta el 30 de septiembre del año 2015. Periodo en el cual el satélite Landsat 8, brinda la imagen que describe la Figura 24.

Figura 25 *Resultados NDVI: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Siguiendo los problemas que se tienen a la hora de descargar imágenes satelitales Administración de Parques Nacionales "APN", (2005), sugiere que las adquisición de imágenes depende del objetivo del trabajo y del fenómeno que se

requiere observar, y que se deben tener en cuenta factores de calidad de imagen, y que uno de estos factores que interfieren en los datos son cobertura de nubes.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos observar que para el municipio de Carmen de Apicalá, se tiene una zona sin información que puede ser nubosidad, u otro tipo de interferencia que tuvo el satélite Landsat 8, en el momento de tomar la imagen. De acuerdo con Moreno (2015), para la toma de imágenes, es indispensable que la falta de información que puede ser de nubosidad no supere el 20% del cubrimiento de la imagen. Teniendo en cuenta lo expuesto por Moreno, (2015), es necesario realizar un cubrimiento de la cantidad de información que no está presente para el municipio de Carmen de Apicalá ya que a simple vista se puede observar que hay un área considerable que tienen problemas de información.

Para ello se ha decidido verificar esta información con una simple regla de tres en donde, se toma el área total del municipio y esta se compara con el área total que no contiene información en el municipio de Carmen de Apicalá. Como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\frac{Área\ total\ del\ municipio\ (Ha)}{Área\ con\ nubosidad} = \frac{100\%}{x}$$

$$X = \frac{(2300{,}7) * 100\%}{19178{,}42} = 12\%$$

Teniendo en cuanta los resultados, se puede decir que la información es representativa.

5.4.3 Cálculo del Índice Normalizado de Área Quemada

El (CDCol), cuenta con el algoritmo ***NBR-índice Normalizado de Área Quemada***. Y se ejecutó de acuerdo con los parámetros metodológicos para tal fin.

Tabla 16 *Información de la ejecución, algoritmo NBR-Índice Normalizado de Área Quemada*

Información NBR	
Código de la ejecución:	6211
Tipo de Ejecución:	Índices de Incendios
Algoritmo:	NBR – Índice Normalizado de Área Quemada
Versión:	1.0
Estado:	FINALIZADA
Créditos Consumidos:	1
Fecha de Creación:	21 de Noviembre de 2020 a las 09:01
Inicio ejecución:	21 de Noviembre de 2020 a las 09:01
Fin ejecución:	21 de Noviembre de 2020 a las 09:14
Creada por:	cfcabiativas@correo.udistrital.edu.co
Descripción:	NBR

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Tabla 16, muestra la información de ejecución de algoritmo NBR-Índice Normalizado de Área Quemada. Con la información relevante a esta ejecución.

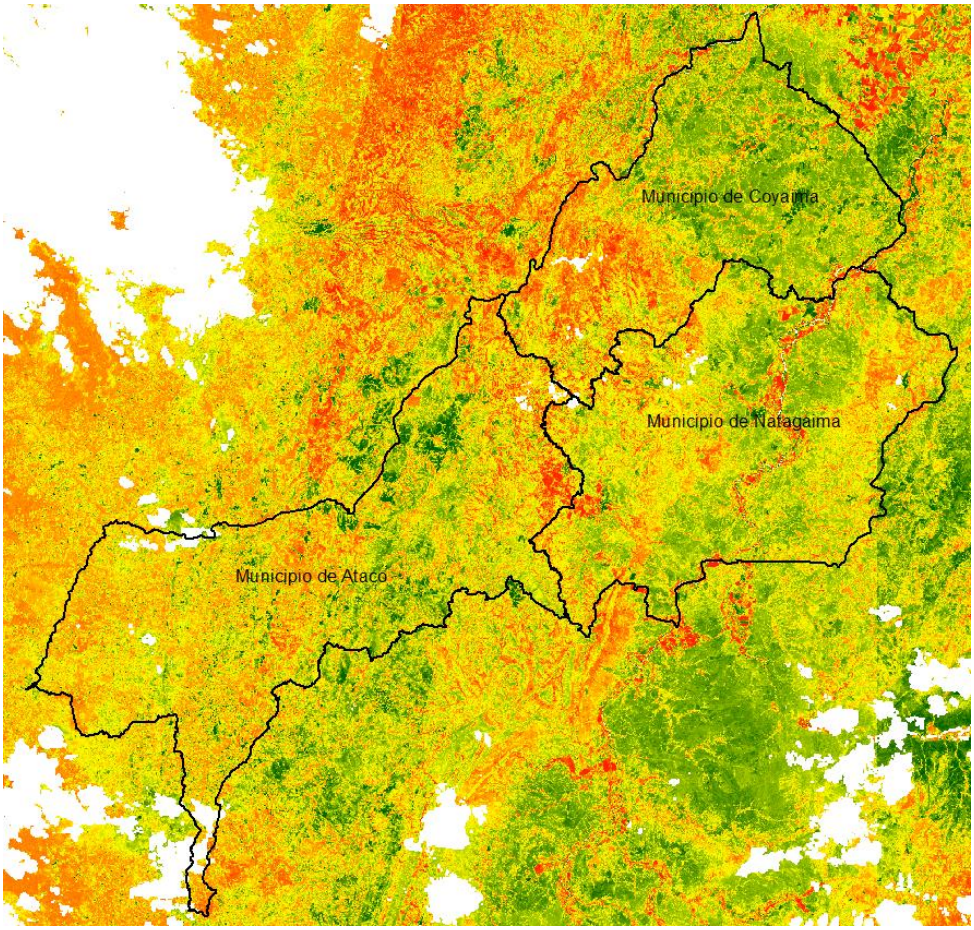
Tabla 17 *Parámetros de la ejecución, algoritmo NBR-Índice Normalizado De Área Quemada*

Parámetros NBR	
Genera Mosaico:	True
Unidades de Almacenamiento:	LS8_OLI_LASRC:,nir,swir2
Área (Latitud mínima):	4
Área (Latitud máxima) :	5
Área (Longitud mínima) :	-75
Área (Longitud máxima) :	-74
Periodo de Consulta:	2015-08-02 - 2015-09-01
Número Mínimo de Pixeles:	1
Normalizado:	True

Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Tabla 17, ilustra los parámetros de la ejecución del algoritmo ***NBR- Índice Normalizado de área quemada***, en donde de acuerdo a las coordenadas consultadas en altitud y longitud son las correspondientes a los municipios de Carmen de Apicalá y Suarez. Además describe las bandas consultadas de Landsat 8, necesarias para esta ejecución.

Figura 26 *Resultados, NBR, Municipios de Ataco, Coyaima y Natagaima*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

De acuerdo a Key & Benzon (1999), el índice de NBR, es un índice similar al NDVI, pero tiene una mejor respuesta a los estudios de los incendios forestales, ya que utiliza las bandas de infrarrojo cercano y el de infrarrojo de cercano de onda corta.

Por otro lado Guillem et al (2017), asegura que el NBR toma valores entre 0 y 1, y guarda una relación con el NDVI, ya que ambos miden cuanta energía, es reflejada por la vegetación respecto a la energía solar incidente.

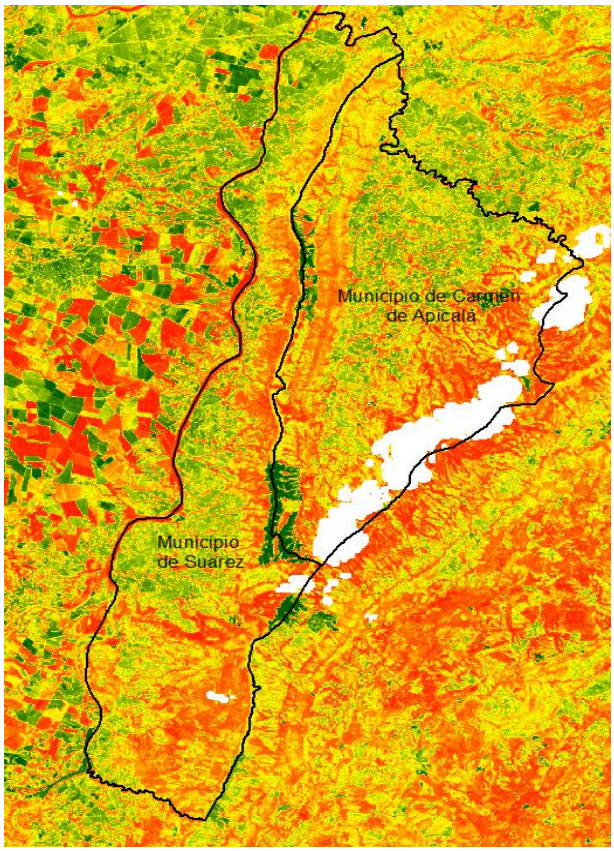
Tabla 18 *Relación entre el NBR y su severidad*

NBR	Severidad Incendio
< -0,25	Alto repoblamiento
-0,25 a -0,1	Bajo repoblamiento
-0,1 a 0,1	Sin quemar
0,1 a 0,27	Baja severidad
0,27 a 0,44	Moderada severidad
0,44 a 0,66	Moderada- Alta severidad
> 0,66	Alta severidad

Nota. Tomado de *Measuring and remote sensing of burn severity*, por Key & Benzon (1999).

Como se puede observar en la Figura 26, los resultados del NBR, muestran rangos de severidad, los cuales dependen de los valores de NBR como se muestra en la Tabla18. Sin embargo, la determinación de cicatrices de incendios de acuerdo a SINCHI (2015), no se clasifican solo con el cálculo del NBR.

Figura 27 *Resultados NBR: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*

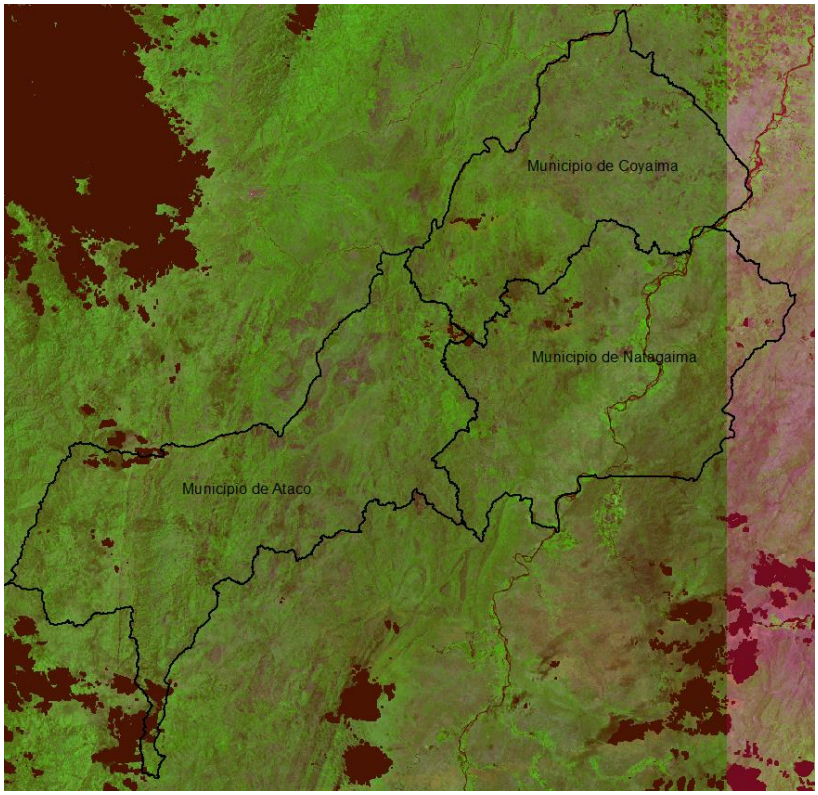


Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Figura 27, muestra los resultados obtenidos en los municipios de Suarez y Carmen de Apicalá, cabe aclarar que en la mayoría de metodologías en la determinación de cicatrices de incendios, se toma el ***ΔNBR*,** sin embargo, la metodología del SINCHI, no plantea la necesidad de realizar un ***ΔNBR***, por lo tanto, no se realizó en el presente trabajo, además cabe aclarar y de acuerdo a Guillem et al (2017), para realizar el delta del NBR, es necesario realizar una comparación en periodos de las cicatrices de quema, por lo que en el caso del SINCHI solo tiene en cuenta un periodo por lo que no es posible realizar este delta.

5.4.4 Creación de la Composición Bandas (7, 5,2)

Figura 28 *Resultado composición de Bandas (7, 5,2) Municipio de Ataco, Coyaima y Natagaima*

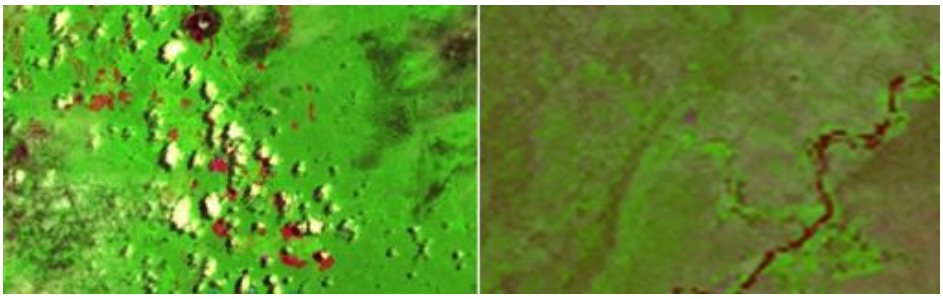


Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La composición de las bandas (7,5,2) como se muestra en la Figura 28, supone que las características de las posibles cicatrices de incendios, son de tonalidades moradas, sin embargo los resultados obtenidos no son los suficientemente claros para afirmar que las cicatrices efectivamente en la imagen son las correspondientes a posibles zonas de área quemada.

De acuerdo a Gonzalo et al., (2017), la realización de la composición de las bandas 7-5-2, se realiza para la obtención de una imagen que contraste la vegetación en condición sana, sobre alguna otra que haya sufrido cualquier otro tipo de disturbio, y las tonalidades que presentan área de quema se presentan en colores marrones o rojos oscuros.

Figura 29 *Ejemplo Composición (7, 5,2) SINCHI (Izquierda); Resultado composición (Derecha)*

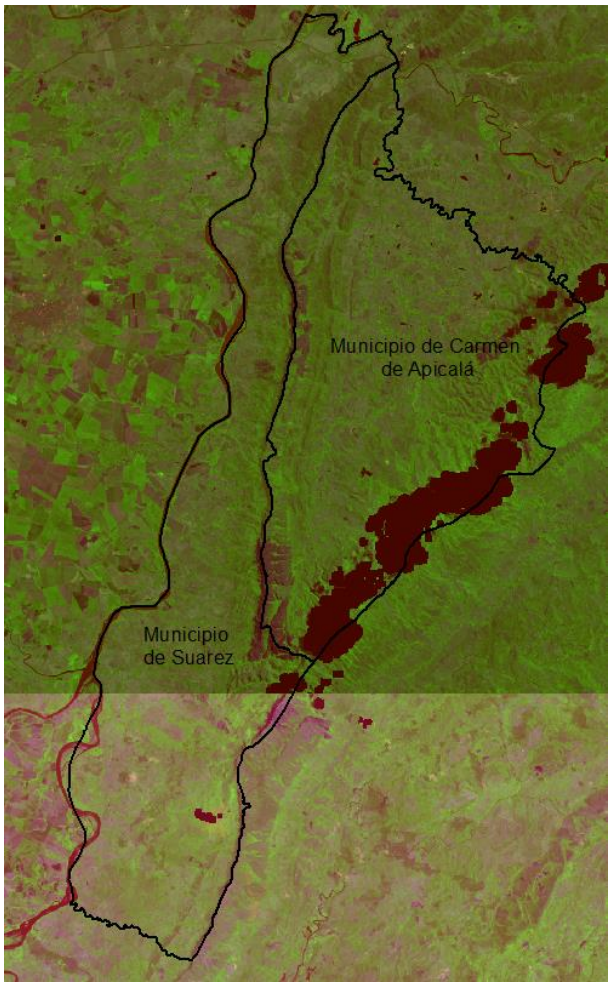


Nota. Tomado de *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI" Metodología para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana Sistema de Monitoreo de Incendios de la Orinoquia* (p.12), por, Gonzalo et al.,(2017).

Como se puede apreciar en la Figura 29, (Izquierda), son los posibles resultados que se obtienen en la composición de las bandas 7-5-2, mientras que la imagen (derecha) es el resultado obtenido, sin embargo y como se puede apreciar los resultados no son muy satisfactorios.

Para el caso de los municipios de Suarez y Carmen de Apicalá, los resultados obtenidos no son los esperados, debido a que las cicatrices de incendios no se asemejan a las características expuestas por Gonzalo et al (2017).

Figura 30 *Resultado composición bandas (7, 5,2) Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*

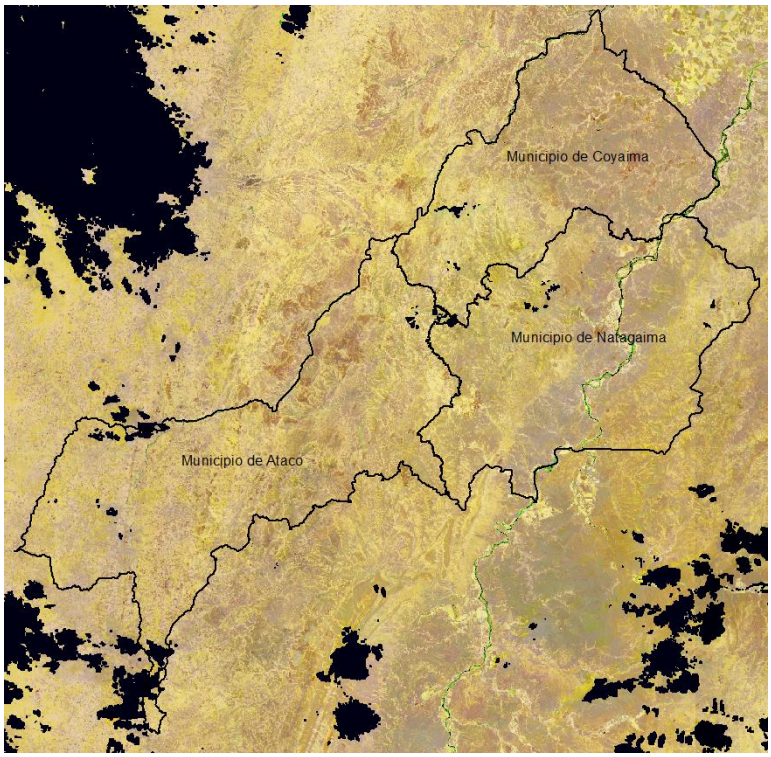


Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

La Figura 30, muestra tonalidades moradas para las cicatrices de incendios, sin embargo, no son lo suficientemente claras, además no concuerda con lo expuesto por la metodología del SINCHI.

5.4.5 Creación de la Composición (NDVI, NBR, Banda 5)

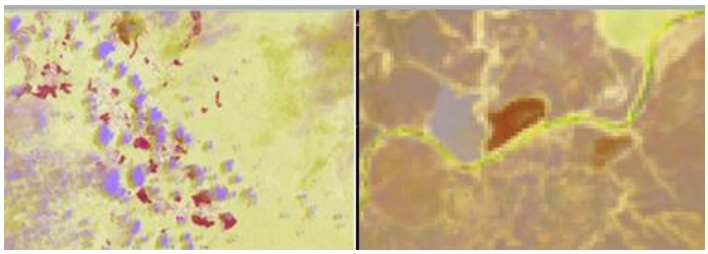
Figura 31 *Resultados Composición NBR-NDVI-B5 Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

Esta composición, Figura 31, se obtiene al componer lo resultados obtenidos del (CDCol), para cada uno de las ejecuciones necesarias para componer la imagen. Como se puede observar las posibles cicatrices de incendios, tienen tonalidades de marrón oscuro, lo que concuerda con lo expuesto por Gonzalo et al (2017). De acuerdo a estos resultados el SINCHI, plantea los resultados que se pueden observar en la Figura 32. A continuación:

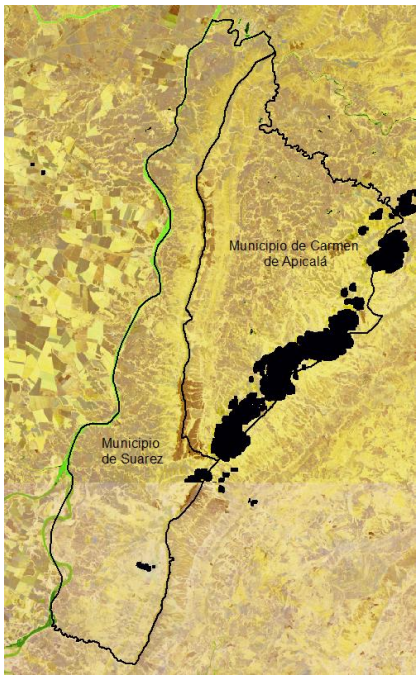
Figura 32 *Ejemplo de composición NBR-NDVI-B5 (Izquierda) Resultados Composición NBR-NDVI-B5 (Derecha)*



Nota. Tomado de *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI" Metodología para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana Sistema de Monitoreo de Incendios de la Orinoquia* (p.12), por, Gonzalo et al.,(2017).

A la izquierda se puede observar las tonalidades en rojo o marrón oscuro de las cicatrices de incendios, de acuerdo a lo planteado por Gonzalo et al (2017). A la derecha se pueden observar los resultados obtenidos de la composición, como se puede apreciar las cicatrices de incendio si se ven en color marrón oscuro, esto quiere decir que los resultados de la composición son los esperados.

Figura 33 *Resultados Composición NBR-NDVI-B5 Municipios de: Suarez y Carmen de Apicalá*



Nota: Tomado de *interface web cubo de datos CDCol*, Autor, (2020)

5.4.6 Segmentación

Neubert & Meinel (2003), consideran que el programa eCognition está considerado como uno de los software más eficaces en cuanto a eficiencia de segmentación se refiere. La segmentación multi-resolution, consigue los mejores resultados generales en comparación con otros software. Además Vicente & Carmen (2016), aclaran que la segmentación multi- resolución, produce objetos de imagen altamente homogéneos utilizando diferentes resoluciones sobre diferentes tipos de datos, por lo que aplicar esta técnica permite obtener buenos resultados para diferentes tipos de datos e imágenes.

Figura 34 *Ejemplo de segmentación*

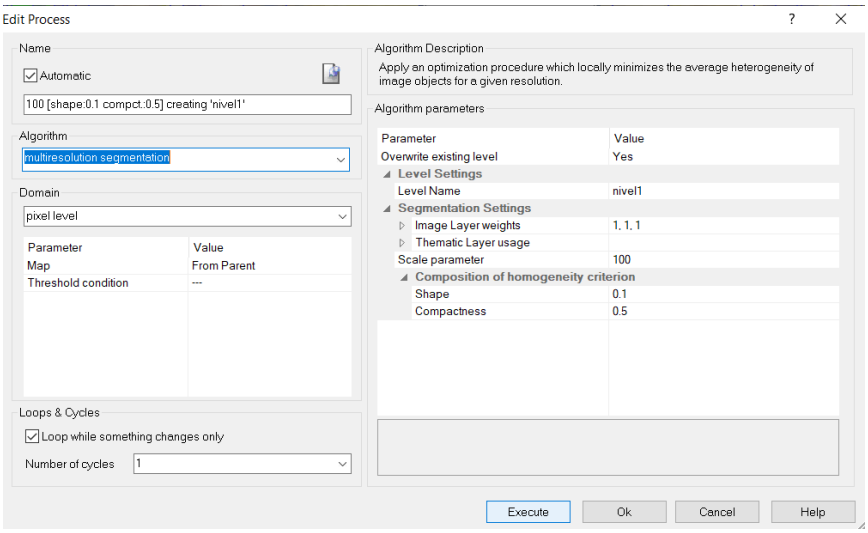


Nota: Tomado de *eCognition,* Autor, (2020)

Como se puede observar en la Figura 34, (Izquierda), es el resultado de la composición NBR-NDVI-B5, y a la (derecha) es el resultado de la segmentación multi-resolution utilizada en el software eCognition.

Los resultados obtenidos de la segmentación, dependen de la escala o el margen de segmentación de la imagen, para el caso de los municipios se tomó una segmentación a una escala de parámetro de 1-100. Como se puede observar en la Figura 37.

Figura 35 *Parámetros ejecución Segmentación*

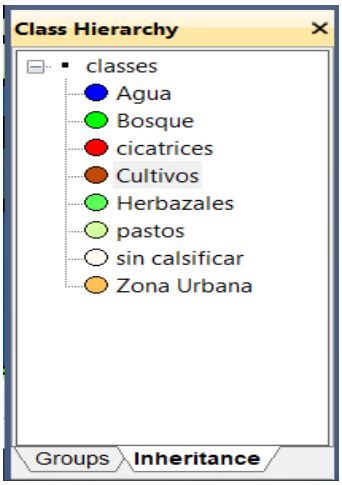


Nota: Tomado de *eCognition,* Autor, (2020)

Esta segmentación mejora a escalas más pequeñas, sin embargo por el tamaño de la imagen y por la limitada capacidad del ordenador no se pudo obtener mejores resultados. Además de ello para poder obtener los resultados de segmentación, fue necesario realizar tres segmentaciones por cada imagen Landsat 8, es decir se recortó cada una de las imágenes utilizadas, por motivos de capacidad del ordenador la cual fue una limitante en el desarrollo de la segmentación.

Una vez el programa realiza la segmentación, se puede realizar una clasificación supervisada de la segmentación. Para ello se tuvieron en cuenta las siguientes clasificaciones:

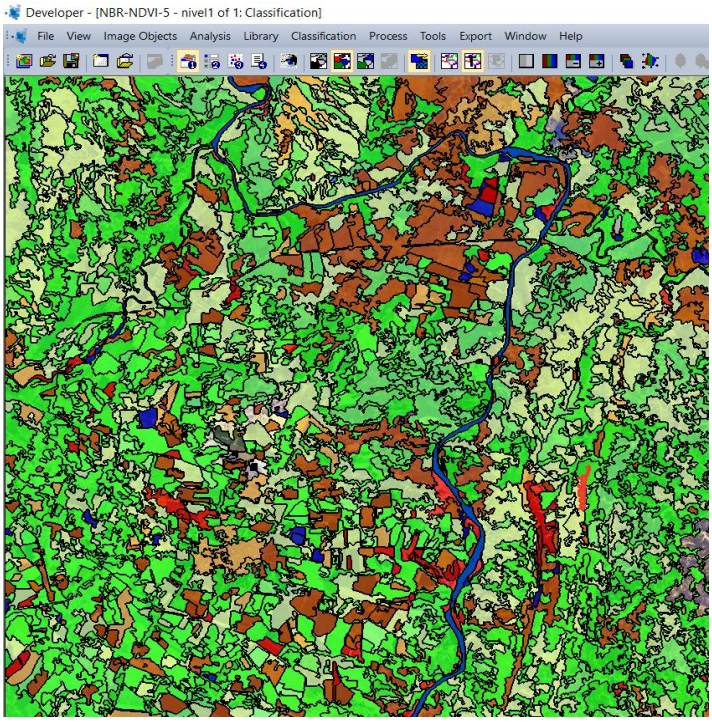
Figura 36 *Ejemplo clases de cobertura en eCognition*



Nota: Tomado de *eCognition,* Autor, (2020)

Para la determinación de las clases se tuvo en cuenta la clasificación realizada para la determinación de cicatrices de quema del algoritmo del (CDCol).

Figura 37 *Resultados Clasificación supervisada eCognition*



Nota: Tomado de *eCognition,* Autor, (2020)

La Figura 37, muestra los resultados obtenidos de la clasificación supervisada realizada por el programa eCognition, para esta clasificación, es necesario realizar una muestra o ejemplo para que el programa realice el proceso de clasificación. De acuerdo a Vicente & Carmen (2016), esta clasificación el programa lo realiza con base a los objetos segmentados, y la realiza a través de dos métodos, la clasificación basada en pixeles , en el que el elemento a clasificar es el pixel, y la clasificación basada en objetos, en el que se generan segmentos basados en la integración de pixeles similares a el primero, los cuales serán asignados dependiendo de los ejemplos de clasificación asignados. Para este caso se tomó la clasificación con base en los ejemplos supervisados y a la integración de pixeles a una escala de parámetro de 1:100.

5.4.6.1 Calidad de la Segmentación

De acuerdo a Vicente & Carmen (2016), existen varios métodos para evaluar la calidad de la segmentación, uno de ello es evaluar la calidad de la segmentación comparando parámetros de referencia para poder ver su similitud. La medida de discrepancia conocida como *Euclidean Distance* 2 (ED2), propuesta por Liu & Xia (2010), han demostrado mejores resultados.

ED2 intenta optimizar en un espacio *Euclideo* 2D las discrepancias geométricas (mediante el error potencial de la segmentación, *potential segmentation* error, PSE) y la discrepancia aritmética entre los objetos de la segmentación a evaluar y los objetos de referencia (Relación entre el número de segmentos, *the number-of-segmentation* ratio, NSR)(Vicente & Carmen, 2016).

Para calcular ED2, Liu & Xia (2010), definieron el conjunto de segmentos correspondientes que puede ser extraído de la segmentación a evaluar y que solo contiene los polígonos que se solapan con los objetos de referencia. Un segmento es incluido en este conjunto de segmentos correspondientes si el área de intersección entre el polígono de referencia y el segmento candidato es mayor de la mitad del área del segmento candidato o del segmento de referencia.

Para el cálculo del PSE se toma la siguiente ecuación:

$$PSE = \frac{\sum|Si - rk|}{\sum|rk|}$$

ED2 mide las discrepancias geométricas mediante PSE, que se define como el cociente entre el área total *under-segment* y el área total de los polígonos de referencia, donde ***rk*** es el polígono de referencia (k = 1, 2, . . ., m) y si representa los segmentos correspondientes de los objetos candidatos asociados al polígono de referencia (i = 1, 2, . . ., v). Un valor de PSE de cero indica que no hay *under-segment*. Un valor grande implica un grado importante de *under-segmentation*.(Vicente & Carmen, 2016).

Para el cálculo del NSR se sigue la siguiente ecuación:

$$NSR = \frac{abs(m - v)}{m}$$

NSR se define como la diferencia absoluta entre el número de polígonos de referencia (m) y el número de segmentos correspondientes (v), dividido por el número de polígonos de referencia. (Vicente & Carmen, 2016).

Finalmente se tiene para el cálculo del ED2 la siguiente ecuación:

$$ED2 = \sqrt{[(PSE^2) + (NSR^2)]}$$

De acuerdo con Liu & Xia (2010), un valor de ED2 igual a cero indica una correspondencia ideal, tanto de geométricamente como aritméticamente, del conjunto de objetos de referencia digitalizados manualmente y la segmentación obtenida Geométricamente, lo deseable es que no exista ni *over-segments* ni *undersegments*. Aritméticamente, lo ideal es que el número de polígonos de referencia y el número de segmentos correspondientes coincidan, es decir, que cada objeto delineado manualmente se corresponda con un único objeto de la segmentación a evaluar.

Por otro lado, valores muy grandes de ED2 indican que hay unas discrepancias geométricas importantes, que existe una gran discrepancia aritmética, o ambas cosas.

Tabla 19 *Resultados calidad de segmentación*

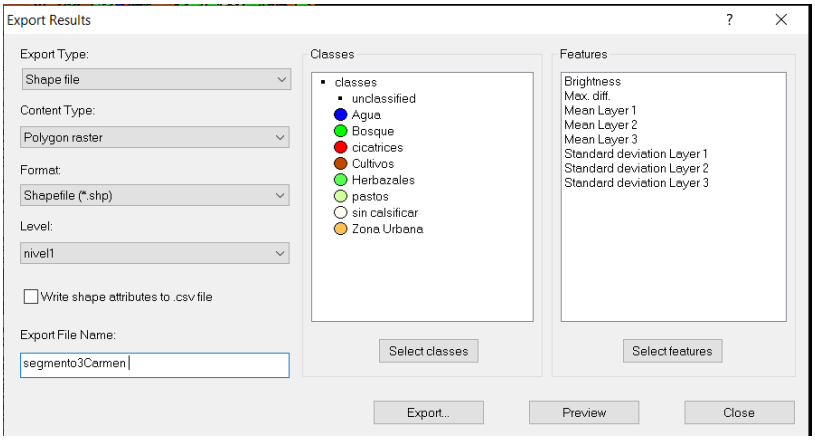
Municipio	Escala	Shape	compacidad	NSR	PSE	ED2
Carmen de Apicalá	100	12	15	0,25	0,702	0,71
Suarez	100	12	15	0,25	0,62	1,03
Natagaima	100	12	15	0,25	0,58	0,77
Coyaima	100	12	15	0,25	0,93	0,96
Ataco	100	12	15	0,25	0,38	0,45

Nota. Autor, (2020)

De acuerdo con los resultados obtenidos Tabla 18, podemos observar que no hay ningún valor de ED2 que se acerque a cero, por lo tanto, la segmentación no es muy eficiente de acuerdo a los planteado por Liu & Xia (2010).

5.4.7 Capa de Polígonos

Figura 38 *Exportación de resultados*



Nota: Tomado de *eCognition,* Autor, (2020)

Una vez terminada la clasificación supervisada Figura 38, el programa permite exportar los resultados en formato Shape, en forma de polígonos. Los cuales son útiles para poder realizar el siguiente paso.

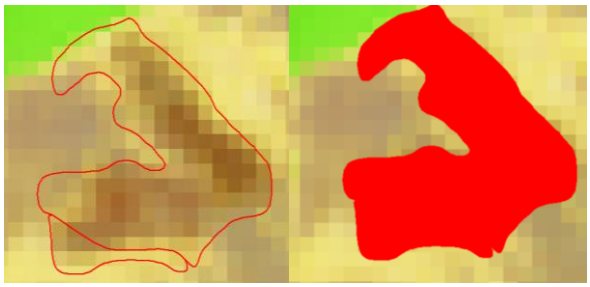
5.4.8 Interpretación, Selección y Clasificación de Cicatrices

Interpretación: Para la interpretación de cicatrices de incendios Gonzalo et al (2017), sugiere, tener en cuenta los resultados de las composiciones 7-5-2, y NBR-NDVI-B5, sin embargo los resultados obtenidos de la composición 7-5-2 no fueron muy acertados por lo tanto, se obvia esta composición. Cabe aclarar que solo se deben interpretar los polígonos de cicatrices de incendios pues las demás coberturas serán eliminadas posteriormente.

Selección: Este es uno de los pasos más complejos debido a que se debe verificar cada una de las coberturas y se deben eliminar. Para este caso se sugiere empezar a eliminar las clasificaciones más obvias, como los polígonos sin clasificar y aguas, y tener una selección muy minuciosa sobre cultivos, pues los pixeles suelen confundirse con las áreas de quema.

Clasificación de cicatrices de quema: los resultados obtenidos serán únicamente los polígonos de cicatrices de incendios (Gonzalo et al., 2017).

Figura 39 *Resultado selección cicatrices de incendios*

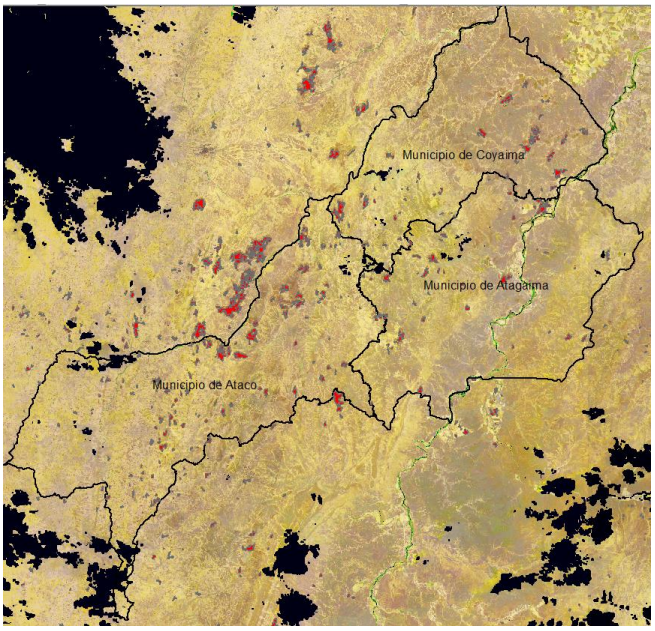


Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

De acuerdo a la Figura 39, se puede observar (izquierda) que el polígono, se sobrepone sobre las áreas de cicatrices de incendios, y también se puede ver (Derecha), el polígono de cicatriz de incendio.

Figura 40

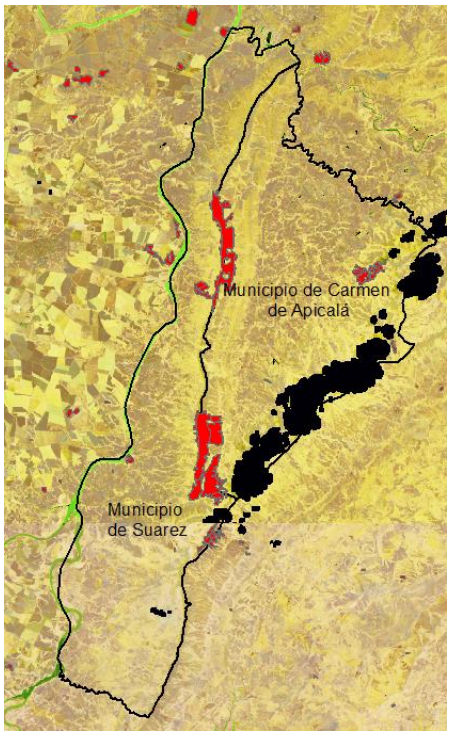
Resultados Cicatrices de Incendios: Municipios de Ataco, Natagaima y Coyaima



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como se puede observar en la Figura 40, se ve las cicatrices no solo de los municipios si no de áreas aledañas de la imagen compuesta. Como primera observación se puede ver que el municipio que presenta mayor áreas de incendios es el municipio de Ataco.

Figura 41 *Resultados cicatrices de incendios: Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*



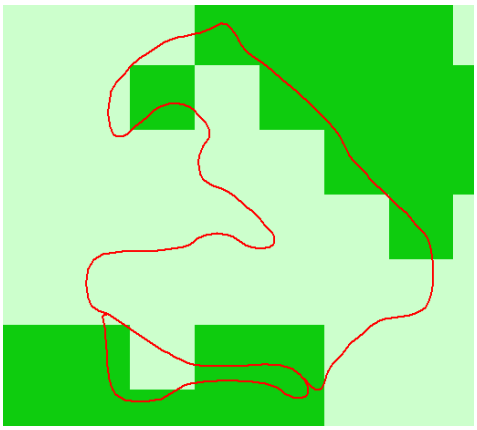
Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Los resultados obtenidos Figura 41, de los municipios de Suarez y Carmen de Apicalá, muestran cicatrices de incendios en los límites de ambos municipios, los cuales son muy extensos a comparación de los demás municipios de estudio. Por lo tanto, aunque se ve que hay menos cicatrices de incendios, puede que estos sean los más extensos en cuanto a área por unidad de cicatriz se refiere.

5.4.9 Determinación de Cicatrices por Coberturas

De acuerdo con la metodología propuesta por el SINCHI, para poder identificar la cobertura afectada por incendios se debe superponer la capa de Bosque –No bosque del IDEAM.

Figura 42 *Superposición Bosque - No boque y cicatriz*



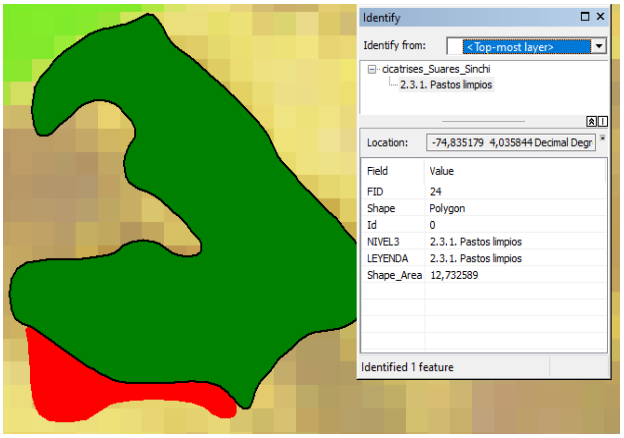
Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como se puede apreciar Figura 42, al superponer la cicatriz de incendio con la capa Bosque – No Bosque, se puede observar que la mayor parte de la cobertura no corresponde a superficie boscosa, por ende se decide obviar la superposición de Bosque – No Bosque.

Sin embargo, para saber las coberturas que se están viendo afectadas, se decide tomar como referencia el mapa de coberturas de la tierra para Colombia, para el periodo comprendido entre el año 2010-2012. A una escala de 1:100.000

De acuerdo con el IDEAM (2014), se actualizaron 436.000 Km^2 del mapa nacional de coberturas de la tierra del periodo (2010-2012).

Figura 43 *Identificación cicatriz por cobertura*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como podemos observar en la Figura 43, en color verde, se logra identificar el tipo de cobertura afectada por incendios, la cual corresponde a Pastos limpios. Además podemos observar el área afectada en (Ha). Como se pude evidenciar los resultados al superponer el mapa de coberturas se obtienen las coberturas que no se pueden obtener sobreponiendo la capa de Bosque –No Bosque.

Figura 44 *Identificación cicatriz por cobertura*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Por otro lado la Figura 44, muestra la cobertura de bosque que está siendo afectada, la cual corresponde a Bosque de galería y ripario. El área afectada es baja a comparación con la cobertura de pastos limpios afectados.

Con el resultado de los respectivos polígonos clasificados por cicatrices y sobrepuestos por cobertura afectada, como complemento al trabajo desarrollado se pueden obtener los diferentes mapas temáticos, relacionados con las áreas de estudios, y periodo de consulta. Para el caso del presente trabajo se realizaron dos mapas temáticos de cicatrices de incendios, correspondientes a los periodos de consulta de julio – octubre del año 2015. Ver Figura 63 y Figura 62. (Anexos).

5.4.10 Generación de Estadísticas por Unidad Espacial de Referencia.

Los análisis corresponden a las áreas afectadas por cobertura vegetal, estos análisis se comparan con los análisis obtenidos de la metodología propuesta del (CDCol), la cual se diferencia de la metodología SINCHI, por la aplicación del algoritmo ***Modelo Cicatrices de Incendios (RF).*** Por lo tanto estos resultados se presentan con las estadísticas espaciales de referencia de la metodología propuesta.

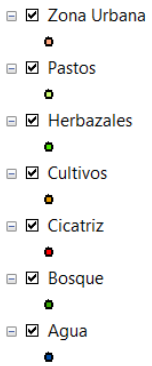
5.5 Metodología Propuesta (CDCol).

5.5.1 Ejecución Modelo Cicatrices de Quema (RF). (CDCol)

Para la ejecución del algoritmo ***Modelo Cicatrices de Quema (RF),*** se necesita realizar una clasificación supervisada de la imagen Landsat sobre la cual se va a ejecutar el algoritmo. Para este caso se realizó la clasificación con base en la composición (**NBR, NDVI, B5).** Se decidió realizar la clasificación con base a esta composición, por los resultados obtenidos.

La clasificación también se realizó con base al Shape del ***Mapa de coberturas de la tierra*** Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, Escala 1:100.000, para el periodo (2010-2012).

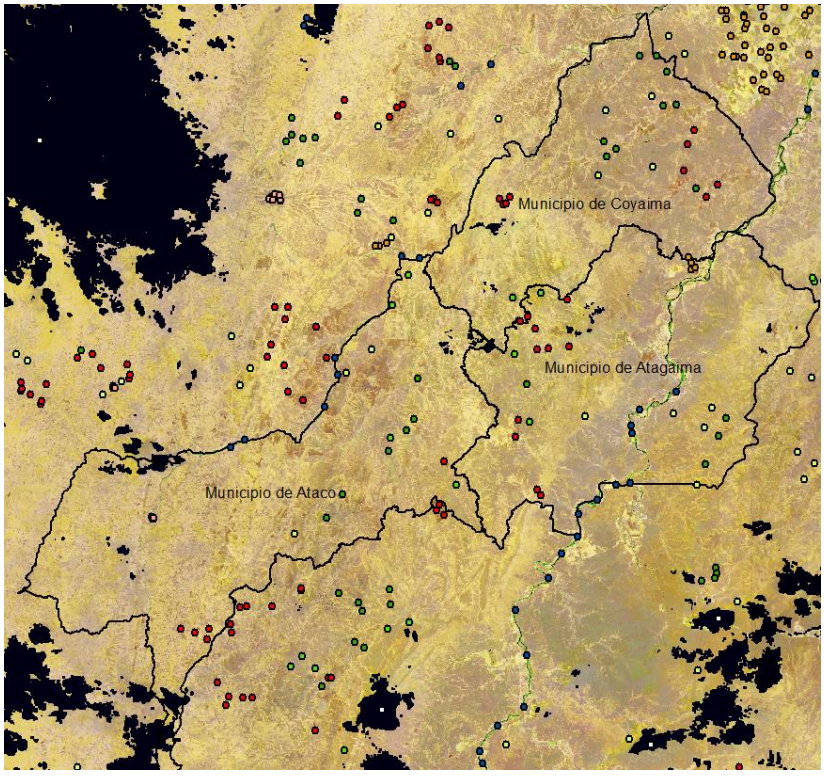
Figura 45 *Clasificación supervisada*



Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

La Figura 45, muestra la clasificación que se realizó para la ejecución del algoritmo, hay que aclarar que el archivo se debe subir en formato ZIP, comprimido se seleccionan las unidades y bandas a utilizar, que este caso son las definidas en la metodología (Blue - NIR - SWUIR 2) ya sea para Landsat 5-LS7 o LS8 y se define el periodo de consulta, es importante mencionar que el archivo Shape que contiene las muestras de entrenamiento del modelo de ser de geometría tipo punto, estar en coordenadas EPSG G-WGS84.

Figura 46 *Muestras Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima*

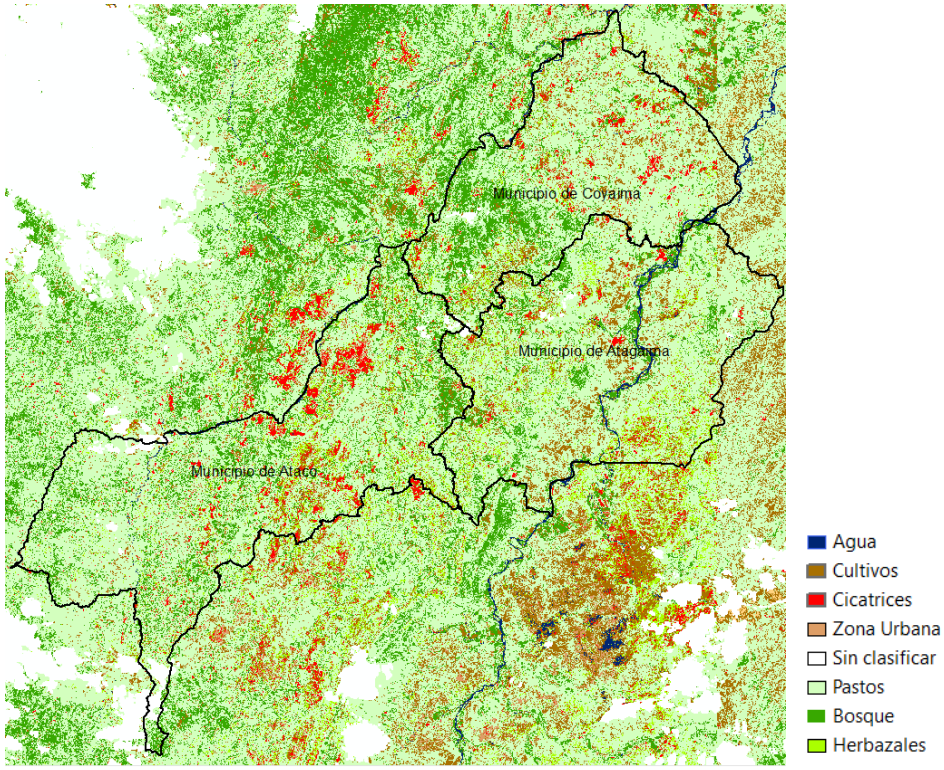


Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

La Figura 46, muestra el Shape de puntos con los que se ejecutó el algoritmo, ***Modelo de cicatrices de incendios (RF),*** estas muestras como se indicó anteriormente, se tomó con base a la composición NBR-NDVIR-B5, además se sobrepuso el mapa de coberturas. Es importante tener mayor precisión en las áreas de cicatrices de incendios,

es decir en los pixeles donde se denotan los colores característicos expuestos por Gonzalo et al (2017) Color marrón oscuros o rojo.

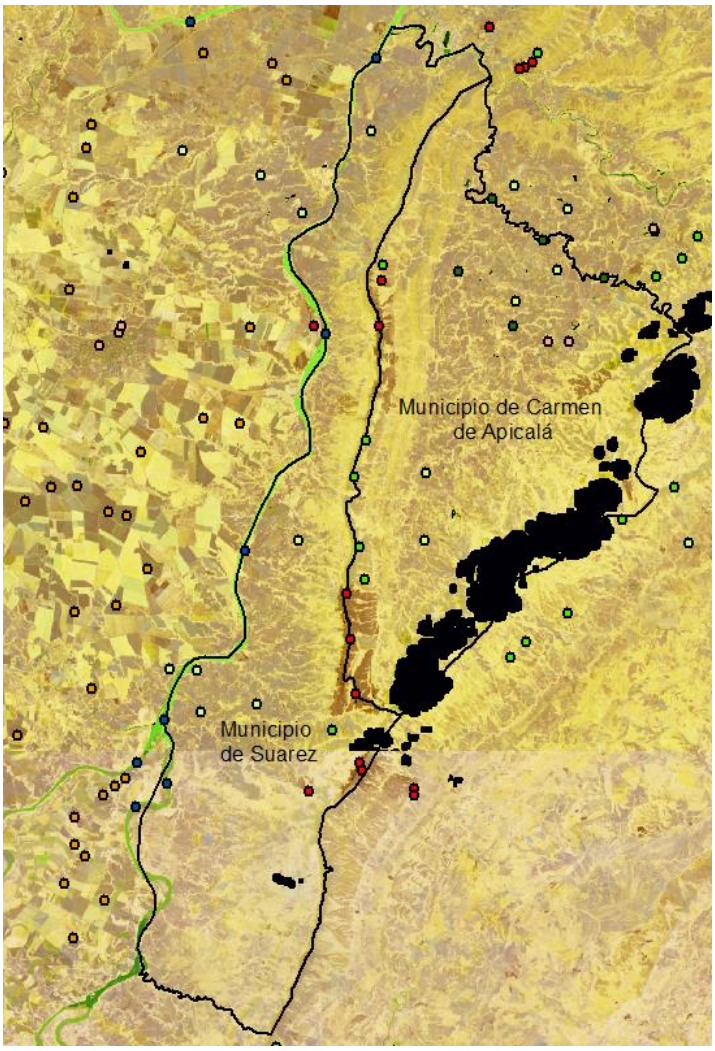
Figura 47*Resultados de la ejecución Modelo de cicatrices de Incendios (RF) Municipios de: Ataco, Coyaima y Natagaima*



Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

De acuerdo con los resultados obtenidos, Figura 47. Podemos observar la clasificación supervisada realizada por el modelo del (CDCol), donde las cicatrices de incendios se aprecian en color rojo. Las demás coberturas no son del interés, sin embargo, se pueden apreciar buenos resultados en la clasificación de coberturas.

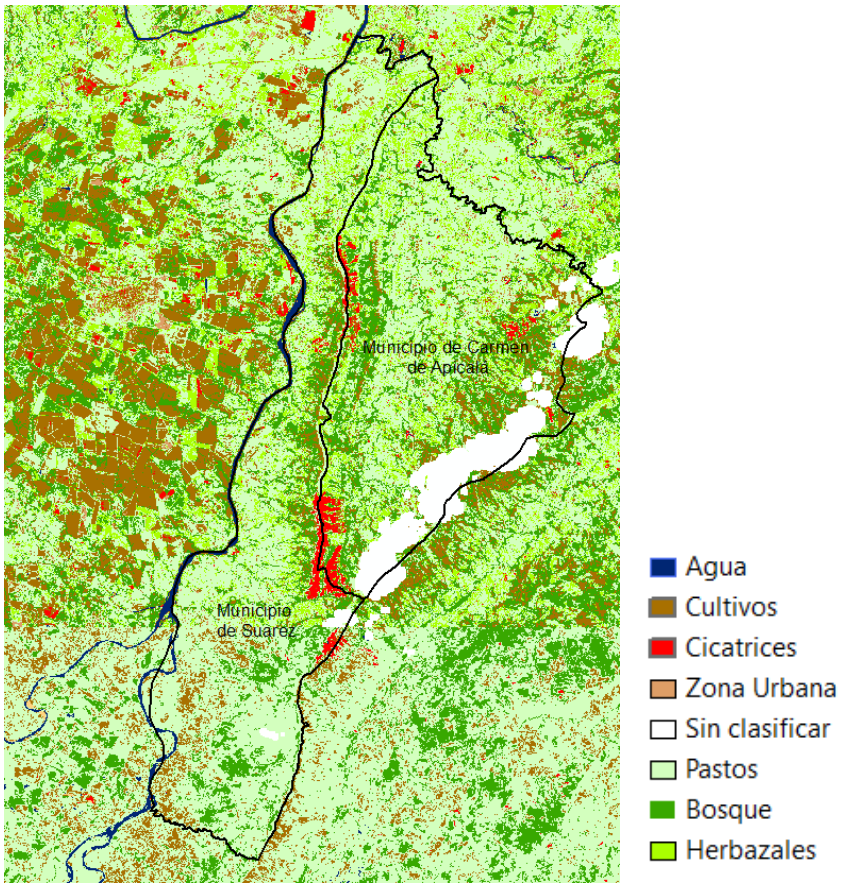
Figura 48 *Muestras Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*



Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Para la muestra de los municipios de Suarez y Carmen de Apicalá, se siguió el mismo procedimiento el resultado del Shape de polígono se pueden apreciar en la Figura 48.

Figura 49 *Resultados Modelo cicatrices de Incendios (RF) Municipios de Suarez y Carmen de Apicalá*



Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

La Figura 49, muestra la clasificación realizada por el ***Modelo de cicatrices de Incendios (RF).***Para los municipios de Suarez y Carmen de Apicalá.

Esta metodología, no contempla realizar una segmentación como si lo hace la metodología SINCHI, pues el (CDCol), con su algoritmo ***Modelo de cicatrices de Incendios (RF),*** Ya realiza la clasificación por lo tanto, el paso a seguir es la de determinar los polígonos de cicatrices de incendios. Además de sobreponer el Shape de coberturas para determinar las áreas afectadas por quema.

5.5.2 Evaluación de Resultados a Través de Matriz de Confusión

Una vez se haya ejecutado el algoritmo Modelo Cicatrices de Incendios, y descargado los resultados, se pueden consultar una serie de carpetas, al descomprime el archivo ZIP, dentro de este se encuentra la carpeta "random-forest-training_5.0". En esta se encuentra "metrics", la cual arroja los resultados de Kappa score. De acuerdo a Cerda & Villarroel (2008), "El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador". Y Precisión score que es el porcentaje de precisión de la ejecución del algoritmo.

Como se tomaron tres imágenes de Landsat 8 para la ejecución del algoritmo **Modelo de cicatrices de incendios (RF)** se obtienen tres resultados para el índice Kappa y la precisión de la ejecución

1. kappa score: 0.5377702676754099;
   Precision score (weighted): 0.6381864344397797
2. kappa score: 0.6770513383062746;
   Precision score (weighted): 0.7466286910020925
3. kappa score: 0.5138888888888888;
   Precision score (weighted): 0.6523809523809524

Como podemos apreciar, se obtienen valores Kappa por encima de 0,5.indicando que los resultados son aceptables pero no son lo suficientemente eficientes, mientras que la precisión, también está por arriba del 50% por lo tanto, se deben verificar mejor el proceso de selección de la muestra supervisada, pues de acuerdo a los resultados obtenidos de la matriz de confusión, se pueden mejorar los resultados. (Es recomendable tener valor de precisión por encima de un 90% y un índice de Kappa por encima de 7).

5.5.2 Generación de Estadísticas por Unidad Espacial de Referencia.

Como se ha mostrado, el presente trabajo se guió con la "*Guía metodológica para el monitoreo de cicatrices por quema de la Orinoquia colombiana"* del SINCHI, Esta metodología se complementó con los algoritmos del (CDCol), es decir se adaptó a las necesidades del grupo de trabajo. Por otro lado, se propone una metodología del (CDCol), la cual se basa en la implementación de ***Modelo de cicatrices de quema (RF).*** La cual utiliza la guía propuesta por el SINCHI, y se realiza los ajustes de acuerdo con los resultados obtenidos y a la aplicación del modelo de cicatrices de incendios del (CDCol), dentro de los cambios más importantes, está la no composición de las bandas **7, 5,2,** pues los resultados obtenidos no fueron satisfactorios y la composición **NBR-NDVI-B5**, mostro buenos resultados de cicatrices de incendios. Además se incluyó en ambas metodologías la sobre posición del Shape coberturas de la tierra del IDEAM para el periodo 2010-2012.

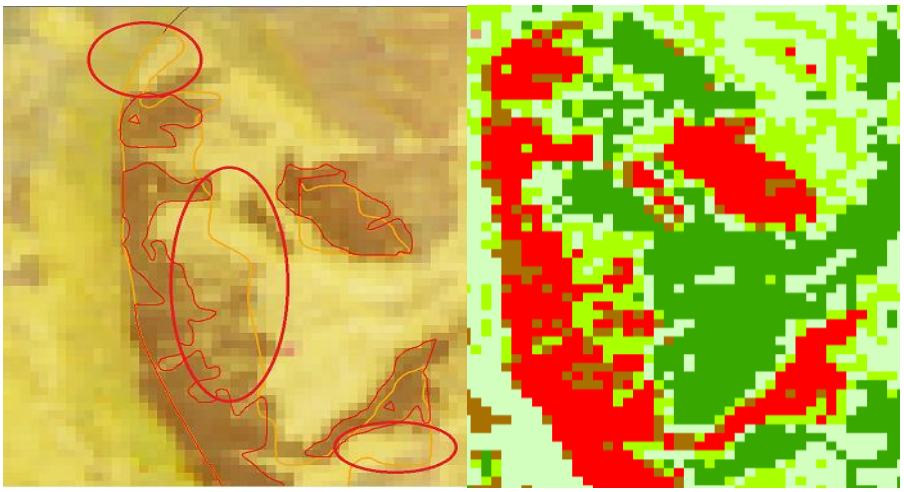
Tabla 20. *Resultados cicatrices de quema Municipio Carmen de Apicalá*

Municipio Carmen de Apicalá		
Cobertura	Metodología SINCHI Área(Ha)	Metodología CDCol Área(Ha)
Pastos limpios	57,991	38,24271
Mosaico de pastos con espacios naturales	13,944	8,403646
Herbazal	550,627	343,838783
Arbustal	4,627	4,887796
Vegetación secundaria o en transición	7,926	8,413017
TOTAL	**635,11**	**403,78**

Nota. Autor (2020).

La Tabla 20, muestra las áreas de quema por cobertura vegetal, como se puede observar se tienen las dos metodologías y las áreas determinadas siguiendo cada uno de estos métodos. Como podemos observar se aprecia una gran incongruencia en la cobertura de herbazales, pues al observar el área difieren en gran proporción.

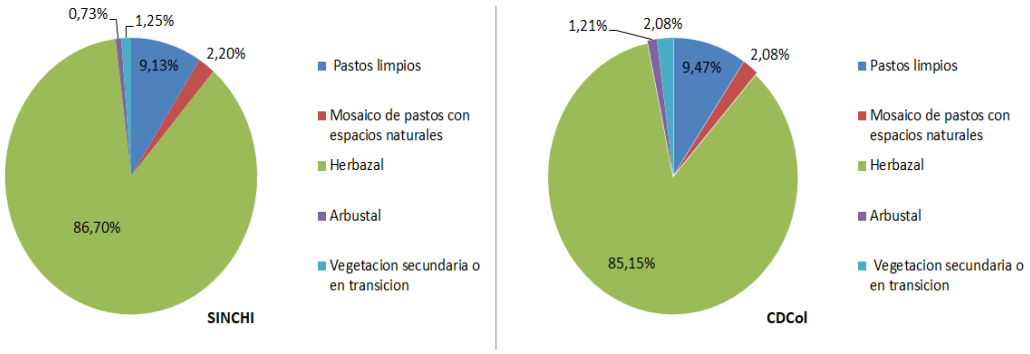
Figura 50 *Comparación cicatrices de quema de herbazal Carmen de Apicalá*



Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

La Figura 50, (imagen Izquierda) muestra la comparación entre los polígonos de cicatrices de incendios para la cobertura herbazal de la metodología SINCHI (línea amarilla) y la del (CDCol) (línea roja), como se puede observar y comparando con ayuda de la composición **NBR-NDVI-B5**, se puede observar que la segmentación realizada está tomando otras áreas que no concuerdan con cicatrices de incendios, (Círculos rojos), mientras que si observamos la clasificación del modelo de cicatrices del (CDCol), (imagen derecha), la clasificación de cicatrices tiene resultados aceptables, por lo tanto, se puede decir que los resultados del (CDCol), han sido más eficientes. Por lo tanto la cobertura de herbazal afectada es de 343,8 (Ha), y no de 550,6 (Ha).

Figura 51 *Porcentajes de áreas de quema por cobertura Municipio de Carmen de Apicalá*



Nota. Autor (2020).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el (CDCol), se puede decir que la cobertura más afectada por cicatrices de incendios para el periodo de julio –Octubre para el año 2015, corresponde en un 86,15% a herbazales.

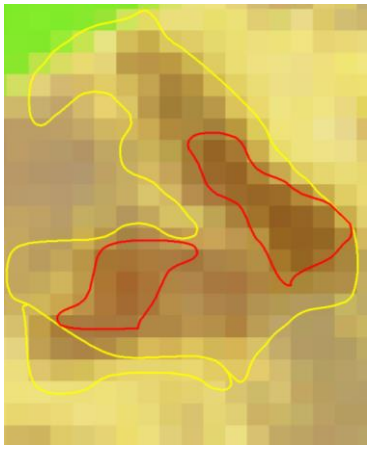
Tabla 21 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Suarez*

Municipio De Suarez		
Cobertura	Metodología SINCHI Área	Metodología CDCol Área
Pastos limpios	14,338398	3,227505
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5,8	4,894682
Mosaico de pastos con espacios naturales	19,522562	14,66256
Herbazal	224,913657	234,633102
Arbustal	8,602339	2,949185
Vegetación secundaria o en transición	28,95065	24,483366
TOTAL	**302,12**	**284,85**

Nota. Autor (2020).

De acuerdo con los resultados de la Tabla 21, la cobertura de pastos limpios, presenta gran diferencia entre los dos métodos

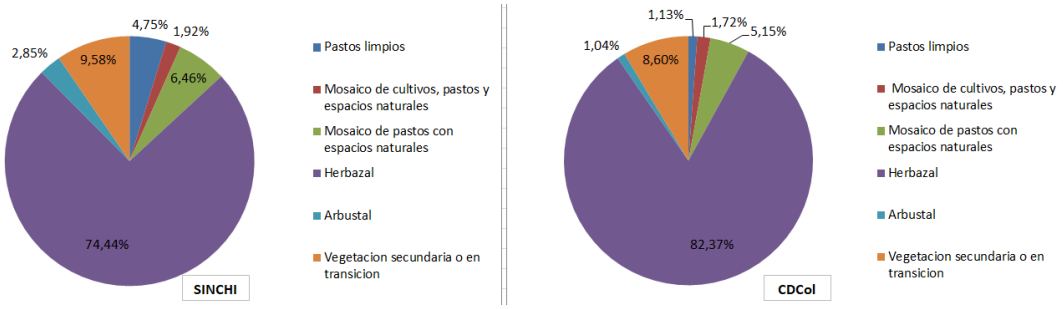
Figura 52 *Comparación cicatrices de quema pastos limpios Municipio de Suarez*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como se puede observar en la Figura 52, (línea amarilla), la segmentación realizó la agrupación de pixeles en un solo polígono, mientras que el algoritmo del (CDCol), realizo dos polígonos (línea roja). Viendo estos dos resultados resultan más acertados los resultados entregados por el (CDCol). Por lo tanto, el área afecta con cicatrices de incendios para la cobertura de pastos limpios corresponde a 3,2 (Ha).

Figura 53 *Porcentaje de áreas de quema por cobertura Municipio de Suarez*



Nota. Autor (2020).

Con respecto a la Figura 53, podemos observar que la cobertura que más tiene polígonos de cicatrices de incendios corresponde a la de herbazales con un 82,37% del total de área correspondiente al municipio de Suarez para el periodo comprendido entre julio- Octubre del año 2015.

Tabla 22 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Coyaima*

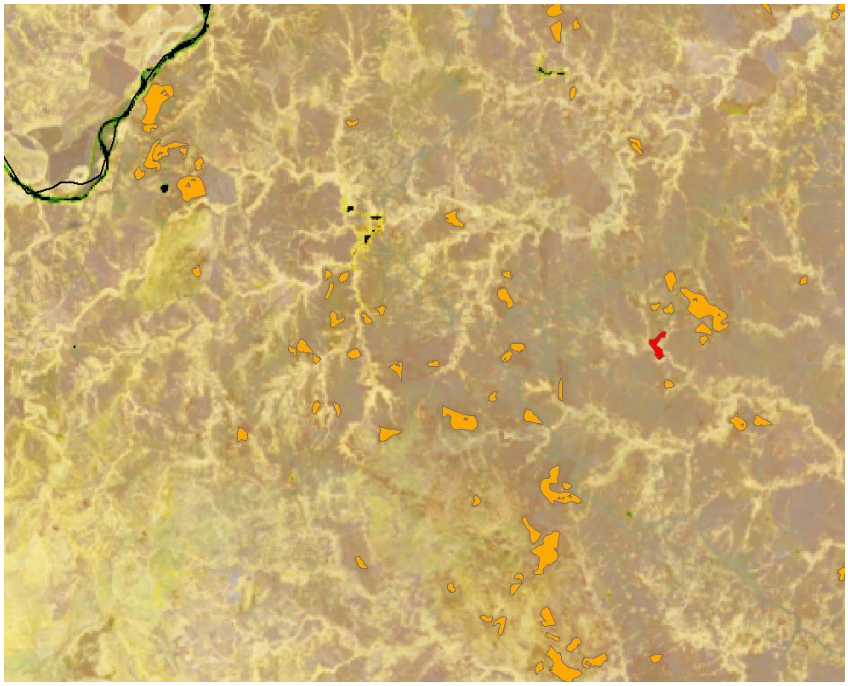
Municipio de Coyaima		
Cobertura	Metodología SINCHI Área (Ha)	Metodología CDCol Área (Ha)
Otros cultivos transitorios	42,204728	108,111245
Cereales	50,132644	129,883742
Pastos limpios	371,13701	490,176766
Pastos enmalezados	77,146092	107,217026
Mosaico de pastos y cultivos	223,755729	159,705671
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	31,95466	59,007249

Mosaico de pastos con espacios naturales	94,558315	28,774221
Bosque de galería y ripario	20,665087	25,398678
Herbazal	80,606604	19,76192
Arbustal	74,510702	25,235892
Mosaico de cultivos	0	7,289103
TOTAL	**1066,67**	**1160,56**

Nota. Autor (2020).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 22, se ve que la cantidad total de área de cicatrices de incendios, es mayor en la metodología del (CDCol), y esta diferencia es casi de 100 (ha) con respecto a la metodología del SINCHI.

Figura 54 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Coyaima*

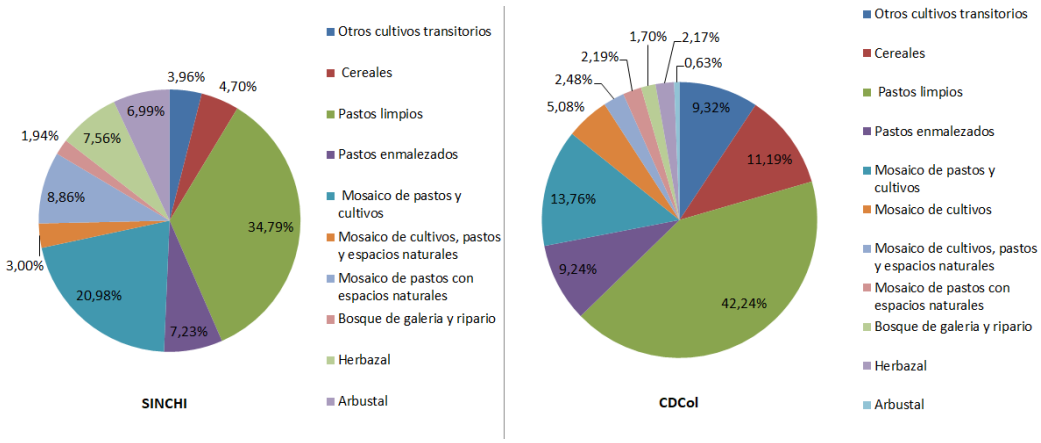


Nota. Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como se puede apreciar en la Figura 54, se tienen resultados totalmente diferentes para las cicatrices del (CDCol) (Amarillo) y las del SINCHI (Rojo). Cabe aclarar que la unidad mínima de mapeo de cicatrices de incendios es de 1 Ha. Sin

embargo mediante la segmentación de polígonos, se utilizó una escala de parámetro alta 1:100, es por ello que el programa eCognition pudo ignorar áreas tan pequeñas las cuales como se ve en la imagen oscilan entre 1 a 5 ha. Sin embargo mediante la clasificación del modelo de cicatrices, el programa del (CDCol), si tiene en cuenta estas áreas. Por lo tanto, se puede decir que el ***Modelo de cicatrices de incendios (RF)***, de acuerdo a la clasificación supervisada obtuvo los mejores resultados. Inclusive tiene en cuenta otra cobertura que el programa eCognition obvio como el de mosaico de cultivos.

Figura 55 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Coyaima*



Nota. Autor (2020).

Teniendo en cuenta los resultados, se puede apreciar que la cobertura que más fue a afectada por cicatrices de incendios para el periodo de julio –Octubre en el año 2015, fue la de pastos limpios con un 42,24%, seguida de la cobertura de cereales con un 11,19% mientras que las coberturas de otros cultivos transitorios y pastos enmalezados tuvieron un 9,32% y 9,24% de cobertura afectada. Estos datos se deducen de los resultados obtenidos con el (CDCol).

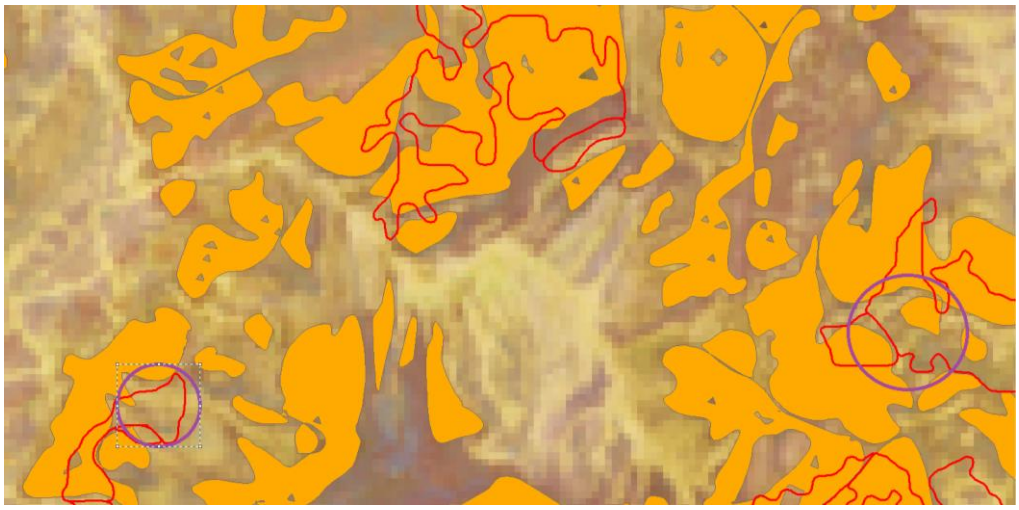
Tabla 23 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Ataco*

Municipio de Ataco		
Cobertura	Metodología SINCHI Área	Metodología CDCol Área
Cultivos permanentes arbustivos	33,043105	5,073823
Pastos limpios	160,529632	207,287111
Pastos enmalezados	198,14041	298,920843
Mosaico de pastos y cultivos	17,343811	20,176723
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	182,515146	92,580582
Mosaico de pastos con espacios naturales	590,841948	640,692072
Bosque de galería y ripario	33,19532	1,118837
Herbazal	628,28737	1177,257648
Arbustal	212,640788	154,892377
Vegetación secundaria o en transición	2,740142	2,242136
Bosque fragmentado	0	1,118837
TOTAL	**2059,27**	**2601,36**

Nota. Autor (2020).

Los resultados de la Tabla 23, muestran nuevamente que hay una diferencia total de hectáreas superior en la metodología usada con el Modelo de cicatrices de incendios del (CDCol), una diferencia aproximada de 600 (Ha).

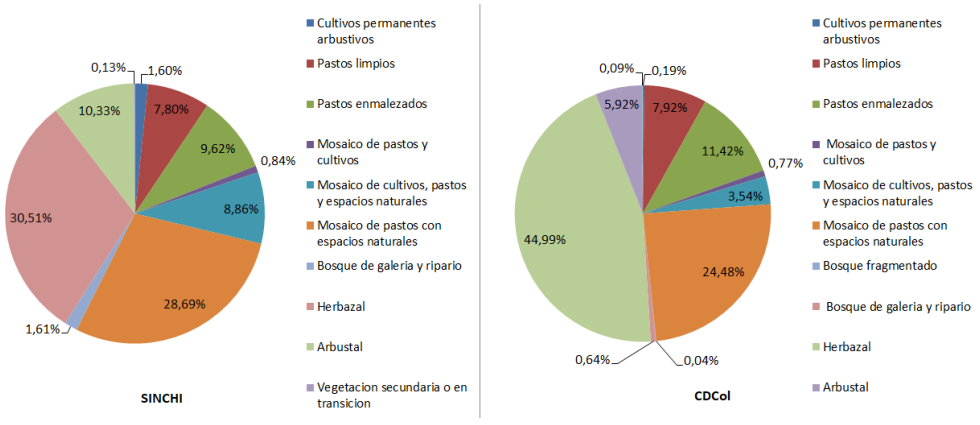
Figura 56 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Ataco*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

La Figura 56, muestra la gran diferencia entre los polígonos obtenidos en las dos metodologías, por un lado en amarillo, se muestran los polígonos de cicatrices que se obtuvieron de la muestra clasificada aplicando el modelo de cicatrices del (CDCol), y en (línea roja) se muestran los polígonos de la metodología del SINCHI. Es claro que los resultados obtenidos son totalmente diferentes pues en (círculos morados) se puede apreciar nuevamente que se están tomando áreas que no corresponden a cicatrices de incendios. Es por ello que para el municipio de Ataco la metodología más acertada es la que se desarrolla con el modelo de cicatrices del (CDCol).

Figura 57 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Ataco*



Nota. Autor (2020).

De acuerdo a los resultados en porcentaje de afectación de coberturas, y teniendo en cuenta los resultados del (CDCol), se puede apreciar que hay dos coberturas que presentan, grandes afectaciones por quema para el periodo comprendido entre Julio –Octubre del año 2015, Herbazales y Mosaico de pastos con espacios naturales, con un 44,99% y un 24,48% respectivamente. En comparación con las dos metodologías, podemos observar que el (CDCol), contempla la cobertura de Bosque fragmentado, la cual siguiendo la metodología del SINCHI, no fue tenida en cuenta. Con respecto a las coberturas de bosque se puede apreciar que se afectó un 0,64% y 0,04%, las coberturas de bosque de galería y ripario y bosque fragmentado respectivamente para el mismo periodo de consulta, lo que resulta muy mínimo en comparación con las demás coberturas afectadas.

Tabla 24 *Resultados cicatrices de quema Municipio de Natagaima*

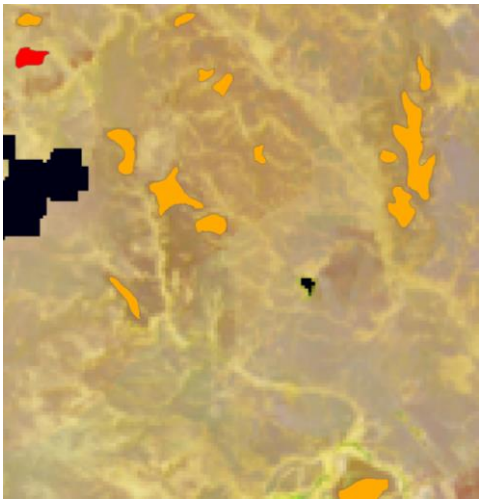
Municipio de Natagaima		
Cobertura	Metodología SINCHI ÁREA (Ha)	Metodología CDCol ÁREA (Ha)
Otros cultivos transitorios	26,167936	39,453191
Cereales	173,366428	186,108895
Pastos limpios	130,824744	112,767781
Pastos enmalezados	95,905478	107,329112
Mosaico de pastos y cultivos	13,065354	16,252202
Mosaico de pastos con espacios naturales	150,935346	121,052179
Bosque de galería y ripario	6,655283	2,466711
Herbazal	31,68386	33,396747
Arbustal	6,553684	4,145234
TOTAL	**635,15**	**622,97**

Nota. Autor (2020).

La Tabla 24, muestra los resultados obtenidos para el municipio de Natagaima, de acuerdo a las dos metodologías propuestas, como se puede apreciar la diferencia total en hectáreas, es apenas de unas 12 hectáreas aproximadamente, este resultado

comparado con los anteriores resulta ser una de los más precisos sin embargo al comparar de nuevo los polígonos se tienen los siguientes resultados:

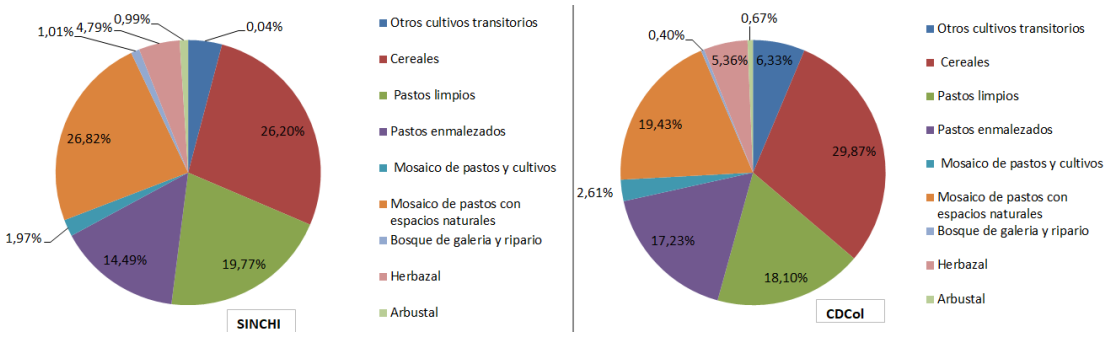
Figura 58 *Comparación cicatrices de quema Municipio de Natagaima*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Como se muestra en la Figura 58, se presentan los mismos inconvenientes en la determinación de cicatrices de incendios pues los polígonos (amarillos), es el resultado obtenido de la implementación del Modelo de cicatrices de incendios del (CDCol), mientras que en (rojo), se muestran el polígono resultado de la aplicación de la metodología SINCHI. Es claro que la segmentación obvia muchos resultados si no se realiza bajo una escala de parámetro correspondiente al estudio que se desee realizar, para este caso y en general los resultados no son buenos pues la escala 1:100 no es la indicada para este tipo de análisis, debido a la escala de implementación y por las limitantes que se pueden tener por un ordenador que no sea eficiente con el programa eCognition. Por otro lado, el (CDCol) presenta grandes ventajas, pues realiza la clasificación en un tiempo estimado de 10 a 20 minutos dependiendo de factores como la capacidad de la red y de cómo esté funcionando la interface web, pues puede que esta tenga inconvenientes, pues en lo corrido del presente trabajo esta tuvo algunas fallas las cuales fueron solucionadas rápidamente.

Figura 59 *Porcentaje de áreas de quema afectadas por coberturas Municipio de Natagaima*



Nota. Autor (2020).

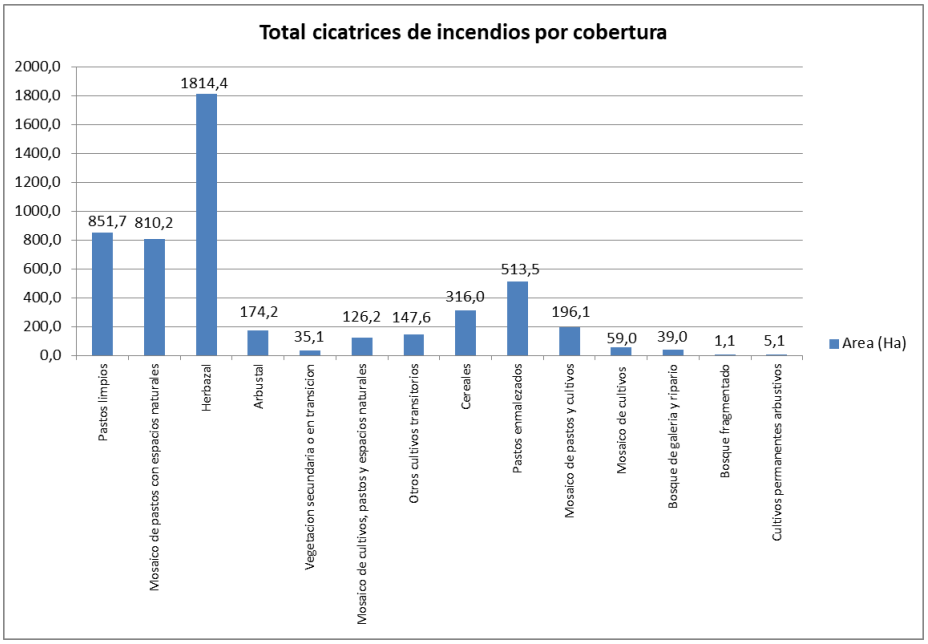
En cuanto a los porcentajes se puede apreciar que la cobertura más afectada corresponde a la de cereales, con un 29,87%, seguida de la de pastos con espacios naturales con un 19,43 % y en el caso de bosque de galería y ripario su afectación es de tan solo un 0,40% para el periodo de Julio –Octubre del año 2015.

Con base en los resultados obtenidos, podemos decir que el proceso de segmentación depende de varios parámetros entre ellos está el de la escala de acuerdo a Vicente & Carmen (2016), el ***parámetro de escala*** es el parámetro más importante cuando se realiza el proceso de segmentación en eCognition, ya que es una forma de sintetizar el tamaño de los objetos, ya que es un umbral que permite fusionar diferentes objetos contiguos dependiendo de la variabilidad espectral de cada uno de ellos, por lo tanto, a parámetros de escala alta, los objetos serán de mayor tamaño, en cuanto a parámetros de escala baja, los objetos serán más pequeños.

Este es uno de los problemas que se encontraron en los resultados de manera general, la escala de trabajo 1-100, resulto no ser la apta para la determinación de cicatrices de incendios, pues el programa no clasifico polígonos de áreas relativamente pequeñas, inclusive se puede observar que por medio de su modelación junto polígonos dentro de este margen, presentando errores porque los polígonos clasificados conjuntos presentaban más área de quema. Es por ello que se recomienda realizar la segmentación con una escala inferior a 1-100 y tener un ordenador capaz de correr el algoritmo multi-resolución, ya que para el presente proyecto fue necesario recortar las imágenes Landsat 8, para que el ordenador ejecutara el algoritmo.

De acuerdo con la segmentación obtenida, se prosigue con la clasificación supervisada , de acuerdo a Wilmintong & Hernández, (2018), esta clasificación se realiza a partir de los parámetros asignados por el autor (clasificación supervisada), y por la cual el programa ejecuta la media, para cada una de las clases de clasificación suministrada, es decir y con base a lo obtenido en la segmentación, el programa decide tomar la media para acomodar los resultados, y como se ha visto con los resultados el programa ejecutó la media de la clasificación de cicatrices y las clasifico junto a otras coberturas producto de la escala alta de segmentación, es por ello que en muchos polígonos de cicatrices de incendios se pueden apreciar áreas que no corresponden a las mismas.

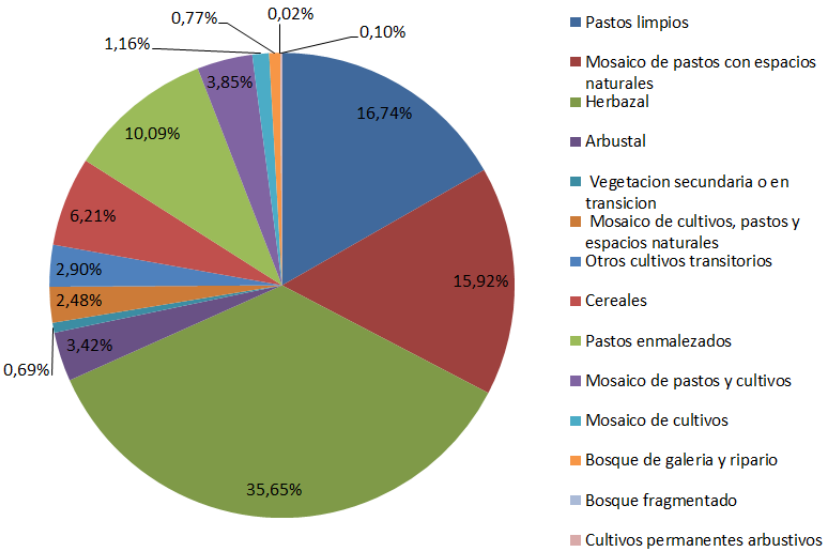
Figura 60 *Total de cicatrices de incendios por cobertura*



Nota. Autor (2020).

La anterior Figura 60, muestra los resultados totales de coberturas afectadas por los cinco municipios del departamento del Tolima (Carmen de Apicalá. Suarez, Coyaima, Natagaima y Ataco).

Figura 61 *Porcentaje total de áreas de cicatrices por cobertura*



Nota. Autor (2020).

Como se puede apreciar en la Figura 61, se puede ver claramente que en términos porcentuales que la cobertura de herbazal es la más afectada por quema con un 35,65%, seguida por pastos limpios (16,74%), mosaico de pastos con espacios naturales (15,92%), pastos enmalezados (10,09%). Dentro de las coberturas boscosas afectadas por quema comparadas con las demás coberturas se tiene un porcentaje bajo pues le bosque de galería y ripario tiene un (0,77%) y bosque fragmentado un (0,02%).

4. Conclusiones

- La interface web del Cubo de Datos de Imágenes satelitales para Colombia (CDCol), es de gran utilidad para él monitoreo de la superficie de bosques y deforestación a nivel nacional y/o regional, pues en el caso de la determinación de cicatrices de incendios, los algoritmos: Compuesto Temporal de Medianas, Índice Normalizado de Área Quemada "NBR", Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada "NDVI", y el Modelo de Cicatrices de Incendios (RF), se aplicaron efectivamente de acuerdo con la metodología propuesta con el equipo de trabajo. Por otra parte comparando el programa eCognition para la ejecución de la segmentación de pixeles de formato Raster a polígono, se puede apreciar que el Modelo de cicatrices de incendios (RF), resulta más eficiente, debido a que sus resultados, evaluados a través del coeficiente Kappa, e índice de precisión, tienen valores por encima del 0,5 y 0,67 respectivamente, indicando que los resultados son aceptables, en comparación con la evaluación de la calidad de segmentación ED2, cuyos resultados, están muy por encima del valor ideal de cero, (0,71 ; 1,03 ; 0,77 ; 0,96 y 0,45) lo cual indica que el producto de la segmentación geométricamente y aritméticamente tienen gran discrepancia. Por lo tanto la metodología propuesta con el equipo de trabajo tiene mejores resultados, si se compara con la segmentación propuesta por la metodología "SINCHI" de acuerdo a los resultados de calidad en las ejecuciones de segmentación y clasificación supervisada del algoritmo Modelo de cicatrices de incendios (RF) del (CDCol).

- Para el caso de monitoreo de coberturas boscosas afectadas por incendios, se obtiene un total de 40,1 hectáreas afectadas por quema (0,79%) del total de coberturas afectadas, cifra que resulta mínima, comparada con la cobertura herbazales, la más afectada con 1.814,4 hectáreas (35,65%) del total de coberturas, por lo tanto, resulto acertado incluir el Mapa de Coberturas de la Tierra para Colombia (2010-2012), para la evaluación de

las demás coberturas que han sido afectadas para el periodo de consulta (2015). Si no se hubieran incluido en las respectivas metodologías, no se tendrían los datos de otras coberturas afectadas por incendios, los cuales resultaron relevantes.

- La elaboración de la documentación como apoyo a la estructuración de contenido académico, es fundamental para el desarrollo del Cubo de datos de imágenes de satélite para Colombia (CDCol), pues en el caso del algoritmo Modelo de Cicatrices de Incendios (RF), no contenía una guía metodológica para la ejecución del mismo, debido a que es un algoritmo que se está implementando recientemente, por ello a través de los resultados del presente documento, se logró incorporar la *"Guía metodológica para la determinación de cicatrices de incendios utilizando el (CDCol)*". Incorporando no solo el Modelo de Cicatrices de Incendios (RF), si no los demás algoritmos utilizados para tal fin.

5. Recomendaciones

- En cualquier caso de trabajo de teledetección, es necesario verificar que el área de estudio cuente con la información satelital necesaria, pues para el caso de la detección de cicatrices de incendios es necesario que la zona de estudio tenga una representatividad superior a un 80%. Es por ello que se deben tener en cuenta los parámetros de consulta para los diferentes sensores satelitales y el periodo de los mismos , pues algunos programas de Landsat por ejemplo cuentan con unas fechas específicas de consulta las cuales deben estar presentes a la hora de descargar y/o ejecutar algoritmos del (CDCol).

- En caso de seguir la guía metodológica de cicatrices de incendios del SINCHI, es recomendable la utilización del algoritmo segmentación multi-resolution, para

ordenadores con gran capacidad de almacenamiento ya que para el caso de estudio, los resultados fueron ineficientes.

- Para obtener mejores resultados en el monitoreo de cicatrices de incendios, es necesario realizar trabajos en situ, los cuales son de gran ayuda para poder corroborar los resultados obtenidos.

Referencias Bibliográficas

Administración de Parques Nacionales (APN). (2005). Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. *Sistema de Información de Biodiversidad*, 22. https://sib.gob.ar/archivos/Protocolo_Landsat.pdf

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Centro de Investigación y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF*, 46.

Cerda, J., & Villarroel ., L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatria*, *79*(1), 54–58. https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008

CMGRD. (2014). *Departamento de Tolima Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DE RIESGOS*.

Consejo Municipal para la Gestion del Riesgo de Desastres CMGRD, A. C. de A. (2012). *Consejo Municipal Para la Gestión del Riesgo de Desastres - Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) - Carmen de Apícala*. 1–102.

Días, J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. *Universidad Complutense De Madrid*, *Junio*, 77. https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

García, H. (2013). Deforestación en Colombia : Retos y perspectivas. *El Desafío Del Desarrollo Sustentable En América Latina*, 123–142. http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/337/3/KAS SOPLA_Deforestacion en Colombia retos y perspectivas.pdf

García, L. H. (2013). Cobertura y uso de la Tierra. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Gonzalo, U., García, M., Alberto, C., & Vélez, M. (2017). *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas " SINCHI " Metodología para el monitoreo de cicatrices por quemas en la Orinoquia colombiana Sistema de Monitoreo de Incendios de la Orinoquia*.

Guallichico, M. (2020). Plan de Desarrollo Municipio de Ataco -Tolima. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.

Guillem, R., Vinué-Visús, D., Caselles-Miralles, V., & Espinós-Morató, H. (2017). Estudio crítico de los índices de severidad y la superficie afectada por el incendio de Sierra de Luna (Zaragoza). *Revista de Teledeteccion*, *2017*(49 Special Issue), 63–77. https://doi.org/10.4995/raet.2017.7117

Hernández, H. (2019). *"Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal."*

IDEAM. (2004). *Incendios: Una amenaza más para los bosques tropicales*. 29p.

IDEAM. (2014). *COBERTURAS NACIONALES*. ECOSISTEMAS. http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-nacionales

IDEAM. (2015). *CDCOL*. http://cdcol.ideam.gov.co/profile/home/

IDEAM. (2017). *Segundo Seminario Nacional Anual Sobre Monitoreo de la Cobertura Forestal*. http://www.siac.gov.co/memorias

IDEAM, C. (2019). *GUÍA RÁPIDA CDCol PARA ANALISTAS*.

IDEAM, PNUD, MADS, & DNP. (2018). *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. 180. www.minambiente.gov.co; www.co.undp.org

Key, C., & Benzon, N. (1999). *Measuring and remote sensing of burn severity*. In Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop.

Liu, D., & Xia, F. (2010). Assessing object-based classification: Advantages and limitations. *Remote Sensing Letters*, *1*(4), 187–194. https://doi.org/10.1080/01431161003743173

Lozano, P. (2019). PROYECTO FOREST 2020 COLOMBIA: TÉRMINOS DE REFERENCIA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.

Martínez, R., Zambrano, E., Nieto López, J. J., Hernández, J., & Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, *68*, 65. https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.04

MINAM. (2017). *Diseño metodológico para el desarrollo de un modelo predictivo de incendios*. 36.

Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierraMinisterio del Medio Ambiente. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra.* http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

Moreno, H. F. (UNIVERSIDAD M. N. G. (2015). Análisis Multiespectral Mediante Imágenes Landsat Para Identificacion De Zonas Degradadas En El Area Boyaca. *Análisis Multiespectral Mediante Imágenes Landsat Para Identificacion De Zonas Degradadas En El Area Circundante a La Laguna De Tota Departamento De Boyaca*, 24.

Neubert, R., & Meinel, G. (2003). *Evaluation of segmentation programs for high resolution remote sensing applications*. In International ISPRS Workshop "High resolution mapping from space.

Pereira, M., & Setzer, A. (1993). Spectral characteristics of deforestation fires in NOAA-AVHRR images. *International Journal of Remote Sensing*, *14*, 597.

Plan Salvaguarda Pijao. (2014). *Plan de Salvaguarda Étnica del Pueblo Pijao*. *4*(3), 57–71. http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150

PMGRD. (2015). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres - AlcaldÍa Municipal de Coyaima*. *685698*(909), 91768.

Rodríguez, L., Beltran, E., Rios, J., & Universidad Católica de Manizales. (2017). *IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS POR INCENDIOS FORESTALES EN EL DEPARTAMENTO DEL META Y DETERMINACIÓN DE MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PARA SU REDUCCIÓN*. *0*(0), 139.

SINCHI. (2015). *Cicatrices de Quema- MONITOREO AMBIENTAL DE LA AMAZONIA COLOMBIANA*. https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=4ee77b40fd6e4a739107350673164996&folderid=93a193f8284f41ea846c6fc38cb3dc4b

Smith, A., Drake, N., Hudak, A., Holden, A., & Gibbson, C. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparisons of methods and applications to MODIS. *International Journal of Remote Sensing.*, *28*(10), 2753–2775.

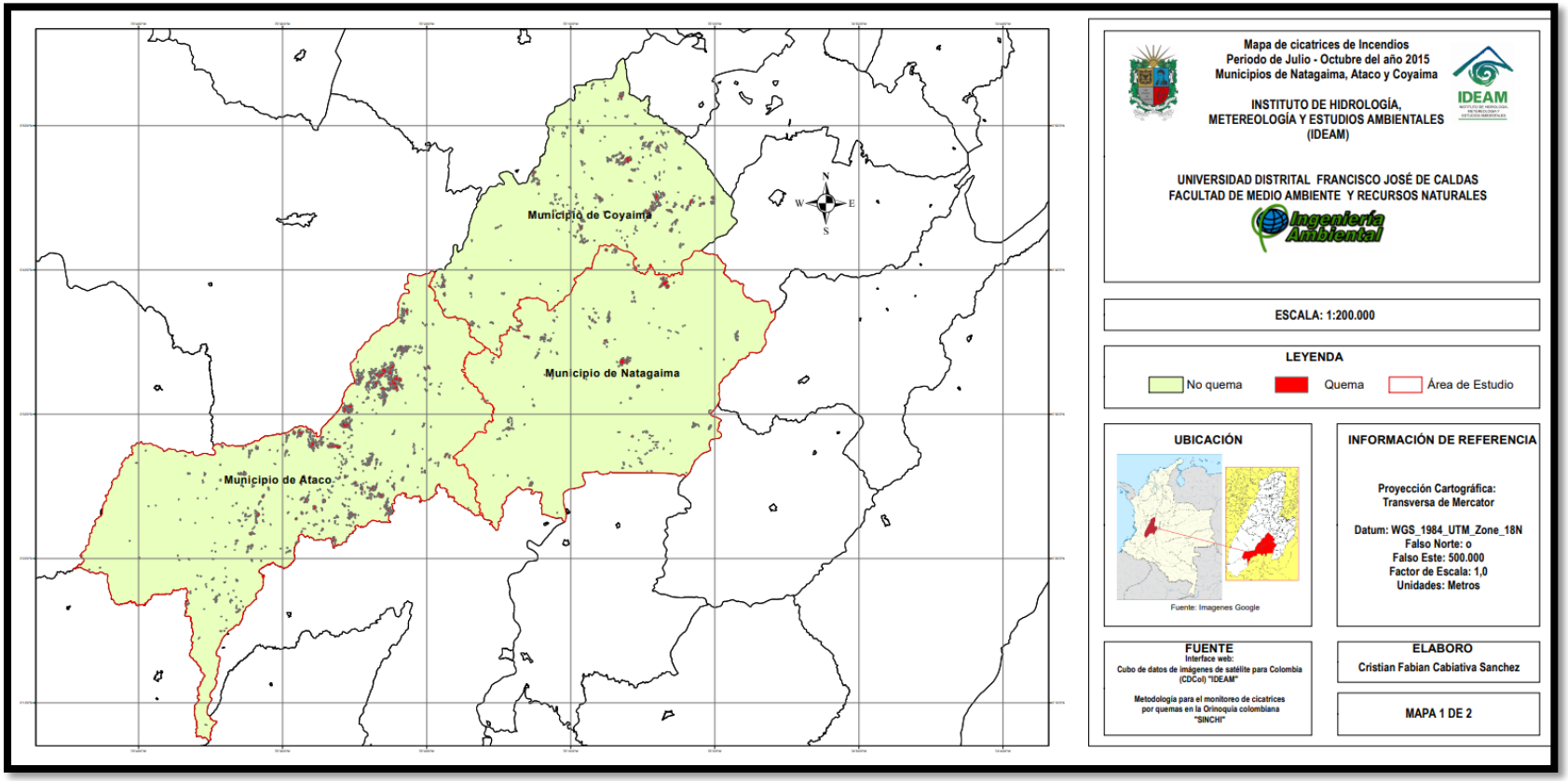
Universidad de los Andes. (2018). *Cubo Adaptado por los Andes y el IDEAM Monitorea Ecosistemas Colombianos*. https://uniandes.edu.co/es/noticias/ambiente-y-sostenibilidad/un-cubo-lo-nuevo-en-monitoreo-ambiental

Vicente, M., & Carmen, M. (2016). *Calidad de la Segmentación y precisión de la Clasificación en Teledetección Orientada a Objetos. Caso de los invernaderos de Almería*. 43.

Wilmintong, J., & Hernández, A. (2018). Clasificación basada en objetos de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del río capucuy, limoncocha,. *universidad internacional sek*, 121.

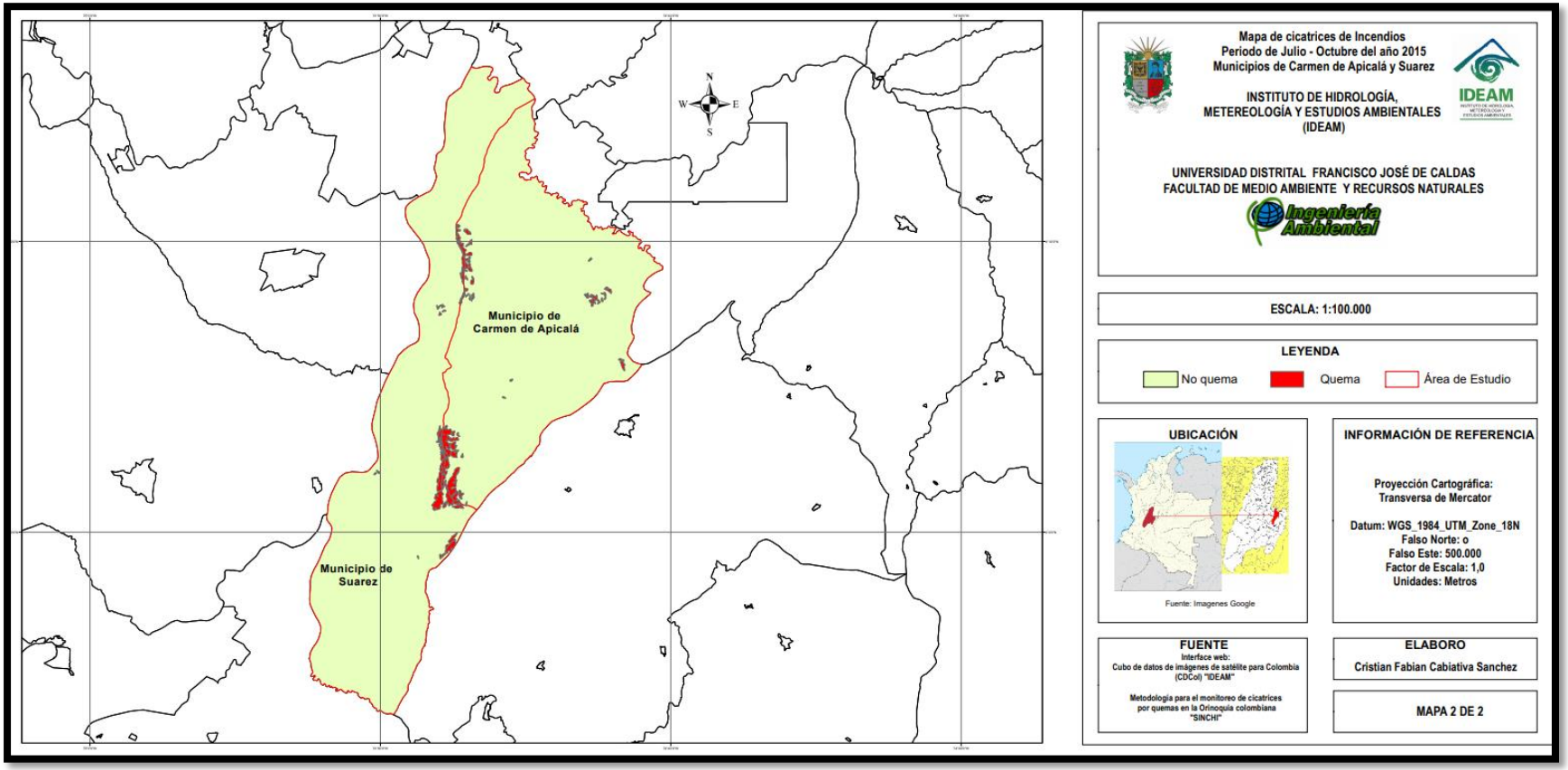
ANEXOS

Figura 62 *Mapa cicatrices de incendios Municipios: Natagaima, Ataco y Coyaima*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)

Figura 63 *Mapa de cicatrices de incendios Municipios: Carmen de Apicalá y Suarez*



Nota: Tomado de *Arcgis 10.3,* Autor, (2020)