

ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL
Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ANÁLISIS ESPACIAL COMPARATIVO DE LOS FOCOS DE CALOR CON LAS COBERTURAS DE LA TIERRA CORINE LAND COVER Y EL RASTER DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

COMPARATIVE SPATIAL ANALYSIS OF THE HEAT POINTS WITH THE LAND COVERINGS AND THE RASTER OF SUSCEPTIBILITY TO THE FOREST FIRES

Viviana Cecilia Chivatá López
Ingeniera Catastral y Geodesta, Especialista en Sistema de Información Geográfica,
Profesional Pronóstico de Incendios de la Cobertura Vegetal,
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM,
Bogotá, Colombia
[vivanachivata@gmail.com](mailto:vivianachivata@gmail.com)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
Facultad de ingeniería, Especialización en Planeación Ambiental y Manejo
Integral de los Recursos Naturales
Bogotá D.C. 2017



RESUMEN

Empleando una serie temporal desde el mes enero de 2016 hasta febrero de 2017 de puntos de calor del Sensor VIIRS 375m del Sistema de Gestión de Recursos para la información de Incendios de la NASA (FIRMS), se determinan las categorías con susceptibilidad a ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal que requieren ser revisadas y actualizadas por cuanto no reflejan completamente la condición actual de la vegetación. Por otra parte, se establecen las principales coberturas de la tierra según clasificación Corine Land Cover (2012) con cantidades destacadas de puntos de calor. Los resultados indican que los Llanos de Colombia son el área más afectada anualmente por los incendios, seguida del Caribe y de la zona Andina y en particular el piedemonte amazónico. Adicionalmente, en las aéreas con susceptibilidad BAJA y MUY BAJA se ubica casi la mitad de los puntos de la serie, lo que supone la necesidad de actualización de la susceptibilidad por cuanto en estas zonas posiblemente se están presentando incendios forestales y no están siendo identificados eficazmente. Todo lo anterior con el fin de advertir zonas en las que se hace necesario validar, actualizar y/o recategorizar los insumos empleados en el Sistema de Información Geográfico para el Pronóstico de Incendios de la cobertura vegetal ocasionados por condiciones hidrometeorológicas - SIGPI - empleado para generar a diario alertas tempranas por este fenómeno, facilitando la gestión del riesgo a incendios forestales, así como para entender los cambios que ha presentado la vegetación en Colombia en la última década.

Palabras clave: Puntos de Calor, Susceptibilidad, incendios, cobertura vegetal, resolución espacial, cobertura de la tierra.

ABSTRACT

Using the NASA Fire Information Resource Management System (FIRMS) time series of hotspots from January of 2016 to February of 2017 (VIIRS Sensor 375 m), the susceptibility categories of occurrence of forest fires that needed to be reviewed and updated were determined, as these do not reflect the actual vegetation condition. On the other hand, the main land coverages with important amounts of heat points were established, according to Corine Land Cover classification (2012). The results indicate that the region known as *Llanos Orientales* of Colombia (eastern plains) is the most affected area by forest fires in the year, followed by the Caribbean and the Andean regions, in particular the Amazon foothills. Moreover, about half of the points of the time series are located in areas with LOW and VERY LOW susceptibility, this shows the need for updating the susceptibility categories, since forest fires occurred in these areas are not being effectively identified. All of the above in order to identify areas where validation, updating and/or recategorization of the inputs used in the Geographic Information System for Forest Fire Forecasting caused by hydrometeorological conditions (SIGPI) is needed. The SIGPI is used daily to generate warnings of this phenomenon, contributing to the risk management



of forest fires, as well as to understand the vegetation changes in Colombia in the last decade.

Keywords: Hotspots, forest fire susceptibility, vegetation cover, spatial resolution, spatial join, land cover.

INTRODUCCIÓN

Los incendios de la vegetación y en particular los incendios forestales, tanto naturales como antrópicos, son considerados hoy en día un factor muy importante en los cambios de los usos del suelo de Latinoamérica y juegan un importante papel tanto en la estructura como en el funcionamiento de muchos ecosistemas [1]. Por otra parte, cada año, los incendios destruyen millones de hectáreas de bosques y otros tipos de vegetación, provocando la pérdida de muchas vidas humanas y animales y causando un inmenso daño económico, tanto en términos de recursos destruidos como en costos de la extinción [2]. De igual modo, dada la extensa área de cobertura vegetal con la que cuenta el territorio Colombiano (110,36 millones de Ha. equivalentes al 96.7% del país), se hace indispensable contar con más y mejores herramientas geográficas que permitan detallar las áreas con notables potenciales de afectación por incendios de la cobertura vegetal.

El IDEAM, en cumplimiento de sus funciones, realiza a diario el monitoreo, seguimiento y generación de alertas tempranas sobre amenazas de incendios de la cobertura vegetal ocasionados por condiciones hidrometeorológicas, para lo cual ha venido implementando, actualizando y mejorando los modelos y aplicativos conceptuales e informáticos que permiten el procesamiento y el análisis de las variables alfanuméricas y espaciales que definen las zonas en las que es pertinente emitir alertas por este fenómeno (Ver figura 1). Para tal fin, actualmente emplea el aplicativo denominado Sistema de Información Geográfico para el Pronóstico de Incendios de la Cobertura Vegetal SIGPI Versión 9.3. que toma como datos de entrada las siguientes variables:

- Precipitación diaria
- Temperatura Máxima diaria

Como datos constantes SIGPI emplea los siguientes datos:

- Temperatura Máxima Media Mensual Multianual TMMMM
- Grado de susceptibilidad de las Coberturas Vegetales del país.
- Grado de Vulnerabilidad de las Coberturas Vegetales del país, ponderadas en 4 valores.

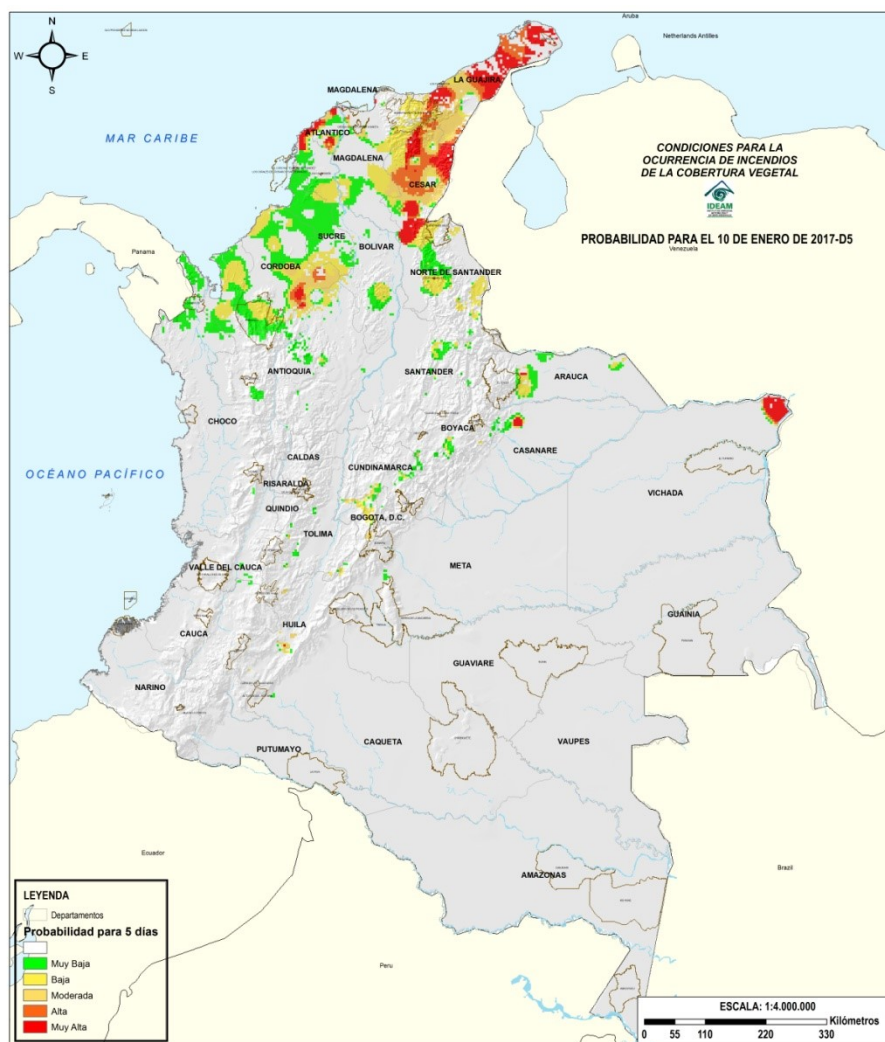


Figura 1. Salida gráfica del modelo SIGPI para el día 10 de Enero de 2017.
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2017.

La Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal se define como las características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad a incendiarse, propagar y mantener el fuego. Hace parte de la amenaza [3]. En el modelo SIGPI se emplea un archivo ráster con 5 categorías de susceptibilidad. Muy baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta con una resolución espacial (asociado al tamaño de pixel) de 250 metros. Con el propósito de refinar este insumo esencial para la determinación de áreas con probabilidad diaria de incendios surge la iniciativa de identificar en cuáles categorías suceden más eventos de incendio y en qué época del año.

Si bien la susceptibilidad incluye el análisis de la condición pirogénica de la vegetación, el insumo empleado para determinar dicha condición fue el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia elaborado en el año

ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

2007 por IDEAM, IAvH, IGAC, IIAP, INVEMAR y SINCHI, que presenta como una de sus principales categorías de calificación la subdivisión del territorio por biomas, caracterizados por los aspectos climáticos y geopedológicos predominantes y estos a su vez son subdivididos en unidades de vegetación según criterios fisionómicos, las cuales corresponden a los ecosistemas [3]. En esta parte, se identifica una oportunidad de mejora de este insumo clave para el modelo de incendios realizando una actualización de las áreas con y sin vegetación existentes en el país. Para ello, la capa de coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, periodo 2010 – 2012 será el elemento empleado para realizar dicha actualización.

Esta capa de coberturas se basa en la metodología CORINE (por sus siglas en inglés programa de coordinación de información del medio ambiente) y con ella se realizó el inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica. Las coberturas identificadas por medio de esta metodología fueron estructuradas de manera jerárquica, identificándolas con base en criterios fisionómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo. De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo rápidamente su ubicación y definición. [4]

Por otra parte, determinar la ubicación de las coberturas vegetales en las que ocurren gran parte de los incendios de la cobertura vegetal resulta de gran utilidad para evidenciar áreas que requieren especial atención por su vegetación con características altas de combustibilidad, y por ende, facilitar la identificación de las zonas en las que es propicio emitir alertas.

Sin embargo, la información disponible sobre la ocurrencia de incendios forestales en Colombia, que se ha venido recopilando desde 1986 a partir de diversas fuentes proporcionadas por las entidades estatales con responsabilidad en el tema (CARs, DAMAs, MADS, UNGRD, Bomberos de Colombia) es de carácter muy general, no estandarizada y muy limitada en cuanto al número de eventos reportados entre otros vacíos de información principalmente en lo referente a la georreferenciación de los eventos lo que no permite conocer la ubicación exacta de cada evento, además de carecer de especificidad acerca de la causalidad fuego. Es decir que esta información no revela la realidad de la problemática, sino que tan sólo permite el establecimiento de algunas tendencias al respecto. [5]

Por esta razón, se identifica en las anomalías térmicas del sensor VIIRS375 el cual es uno de los productos con mejor resolución espacial ofrecido por la NASA, un insumo alternativo idóneo como indicador de incendios detectados para los diferentes tipos de vegetación, ya que es presentado en forma de puntos de calor ubicados sobre el territorio, eliminando de este modo el inconveniente de la escasez de información georreferenciada de eventos de incendio y también representan



igualmente un insumo apropiado para determinar las categorías de susceptibilidad en las que se han concentrado un gran número de eventos de incendio.

Los puntos de calor del Sensor VIIRS (el cual cuenta con una resolución espacial de 375 metros) son el producto más reciente que se agrega al Sistema de Gestión de Recursos para la información de Incendios de la NASA – FIRMS por su sigla en inglés -, junto con los datos entregados por MODIS cuya resolución es de 1 km. Los datos de VIIRS375 son un valioso insumo que ofrece una mayor respuesta sobre los incendios de áreas relativamente pequeñas y proporciona una mejor delimitación de perímetros de grandes incendios (Ver Figura 2). Además, los puntos de calor de VIIRS375 m también proporcionan mejor información de cambios abruptos de temperatura por encima de lo habitual que sean detectadas durante la noche. [6] En consecuencia, estos datos son muy convenientes como apoyo a la gestión del riesgo de incendios y de sistemas de alertas tempranas en el mundo, así como otras aplicaciones científicas que requieren una mayor fidelidad de cartografía de incendios.

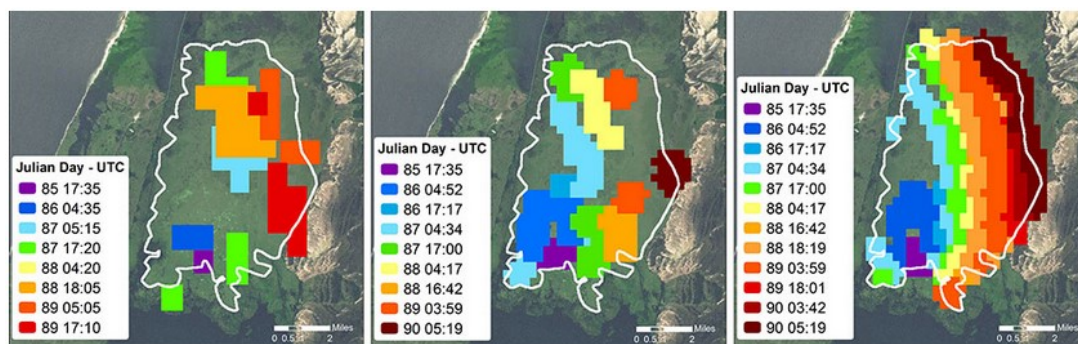


Figura 2. Comparativo de resolución y delimitación obtenida por MODIS y VIIRS de un área quemada. La propagación diaria de un incendio identificada por 1km Aqua / MODIS (izquierda), 750 m VIIRS (centro) y 375 m VIIRS (derecha) en la Reserva Ecológica Taim en el sur de Brasil. Los datos abarcan el período 26 -31 de marzo de 2013. El contorno blanco muestra el área quemada mapeada usando 30m Landsat-7 el 31 de marzo.

FUENTE: Earth Observation Data. NASA. Wilfrid Schroeder, Universidad de Maryland 2016 [6].

Estudiar la distribución temporal y espacial de los puntos de calor del sensor VIIRS375 sobre las áreas con susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal y sobre la más reciente capa de cobertura de la tierra oficial, permitirá detallar las áreas con notables potenciales de afectación por incendios de la cobertura vegetal lo que contribuirá a la consolidación de bases de datos más precisas y actualizadas, y a la generación de alertas tempranas en el marco de la gestión integral para la prevención de incendios forestales.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio de este trabajo comprende todo el territorio continental colombiano. Se realizó análisis espacial de diferentes insumos: (i) una serie temporal de trece meses de anomalías térmicas o focos de calor (i.e. hotspot)

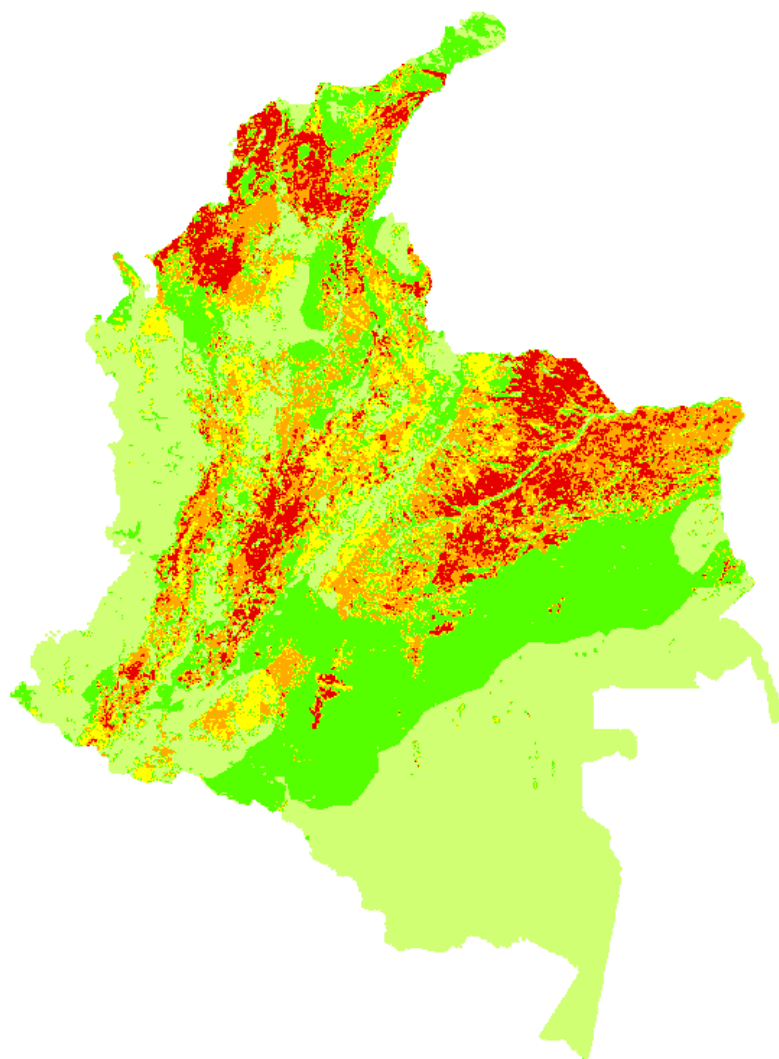


detectadas por el sensor VIIRS375 desde el 8 de enero de 2016 (fecha desde la cual los puntos de calor se han generado a diario sin interrupción) al 28 Febrero de 2017, (ii) La Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal con resolución espacial mejorada de 50 metros y iii) Capa de coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, periodo 2010 – 2012. A continuación, se describen los procesos aplicados a cada uno de los insumos.

1.1. SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN A LOS INCENDIOS vs. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA

Originalmente, este insumo presenta el territorio continental colombiano dividido en 5 categorías de susceptibilidad a incendios:

Esta capa fue realizada en el año 2007 con los insumos disponibles en esa época. (Ver figura 3)



Property	Value
<input type="checkbox"/> Raster Information	
Columns and Rows	5419, 7375
Number of Bands	1
Cellsize (X, Y)	250, 250
Uncompressed Size	38,11 MB
Format	GRID
Source Type	continuous
Pixel Type	signed integer
Pixel Depth	8 Bit

RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD

- Muy baja
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy alta

Figura 3. Capa original de Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal de Colombia. La escala de colores muestra las cinco categorías de clasificación de susceptibilidad. En la tabla se observa la resolución espacial de la capa de 250 metros.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2007 [5].

En este punto se identifica la necesidad de realizar un alistamiento de esta capa antes de realizar la unión y posterior análisis espacial de la susceptibilidad con las anomalías térmicas. De acuerdo a lo anterior, se realizaron dos ejercicios con la susceptibilidad.

1.1.1. Sustracción de coberturas sin vegetación y mejoramiento del nivel de detalle

En esta parte, se realizará una actualización de las áreas con y sin vegetación existentes en el país. Para ello, la capa de coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, periodo 2010 – 2012 será el elemento empleado para realizar dicha actualización.



De acuerdo a la revisión realizada se determinó que 44 niveles de las coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, periodo 2010 – 2012 corresponden a unidades de Territorios Artificializados (Unidades con codificación iniciada en 1) que ocupan un total de 453110.1 hectáreas, Áreas abiertas sin o con poca vegetación (Unidades con codificación iniciada en 3.3) que ocupan un total de 616350.7 hectáreas, Áreas húmedas (Unidades con codificación iniciada en 4) que ocupan un total de 898673.4 hectáreas y Superficies de agua (Unidades iniciadas en 5) que ocupan un total de 1871753.9 hectáreas. Se identificó que estas unidades de cobertura deben ser excluidas de las áreas de susceptibilidad a ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal por cuanto no contienen algún tipo de vegetación, a excepción de la unidad 3.3.4 Zonas quemadas, la cual, si bien ha sufrido daño a causa del fuego sigue siendo un área con vegetación, pero su condición pirogénica es muy diferente a la de la vegetación sana. El listado de coberturas a extraer se muestra a continuación:

Tabla 1. Coberturas de la tierra metodología CORINE Land Cover (*CLC) adaptada para Colombia a escala 1:100.000, periodo 2010 – 2012 que no poseen vegetación.

CÓDIGO CLC*	NOMBRE	CÓDIGO CLC*	NOMBRE
1.1.1.	Tejido urbano continuo	3.3.1.1	Playas
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	3.3.1.2	Arenales
1.2.1	Zonas industriales o comerciales	3.3.1.3	Campos de dunas
1.2.1.1.	Zonas industriales	3.3.3	Tierras desnudas y degradadas
1.2.2.	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.3.4.	Zonas quemadas
1.2.3.	Zonas portuarias	3.3.5.	Zonas glaciares y nivales
1.2.4.	Aeropuertos	3.3.5.2	Zonas nivales
1.2.4.1.	Aeropuerto con infraestructura asociada	4.1.1.	Zonas Pantanosas
1.2.5.	Obras hidráulicas	4.1.2.	Turbera
1.3.1	Zonas de extracción minera	4.2.1.	Pantanos costeros
1.3.1.2.	Explotación de hidrocarburos	4.2.2.	Salitral
1.3.1.3.	Explotación de carbón	4.2.3.	Sedimentos expuestos en bajamar
1.3.1.5.	Explotación de materiales de construcción	5.1.1.	Ríos (50 m)
1.3.1.6.	Explotación de sal	5.1.2.	Lagunas, lagos y ciénagas naturales
1.3.2.	Zona de disposición de residuos	5.1.3.	Canales
1.4.1.	Zonas verdes urbanas	5.1.4.	Cuerpos de agua artificiales
1.4.1.1.	Otras zonas verdes urbanas	5.1.4.1.	Embalses
1.4.1.2	Parques cementerios	5.1.4.2.	Lagunas de oxidación
1.4.2.	Instalaciones recreativas	5.1.4.3.	Estanques para acuicultura continental
1.4.2.2	Áreas deportivas	5.2.1.	Lagunas costeras
1.4.2.3.	Áreas turísticas	5.2.2.	Mares y océanos
3.3.1	Zonas arenosas naturales	5.2.3.	Estanques para acuicultura marina

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2010 [6].



Para refinar este insumo indispensable para la determinación de alertas tempranas, se realizó una sustracción de las áreas de la clasificación de coberturas Corine Land Cover que no corresponde a algún tipo de vegetación. Para ello se empleó la herramienta *Clip* del software ArcGIS Versión 10.4.1, la cual permite cortar áreas de polígonos basándose en un área de influencia (buffer) ó realizar el corte empleando como insumo un(os) polígono(s) de otra capa. En este caso para cortar las áreas de la capa de susceptibilidad que no poseen cobertura vegetal se tomaron los polígonos de la cobertura Corine Land Cover sin vegetación y se sustrajeron a los polígonos de susceptibilidad.

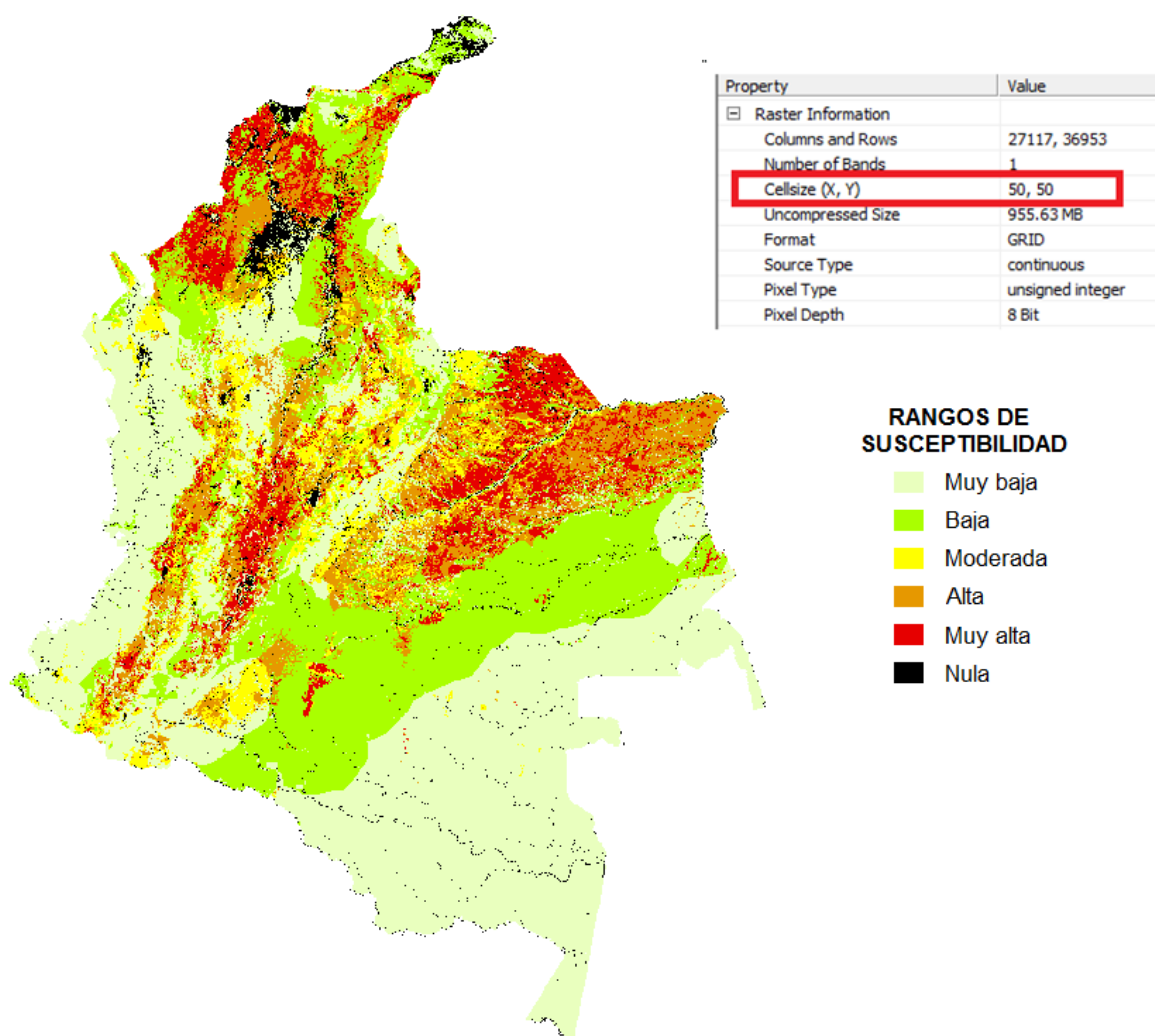


Figura 4. Capa de Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal con la sustracción de polígonos de la cobertura Corine Land Cover sin vegetación (áreas en negro dentro del territorio colombiano). Nótese la adición de la categoría Nula en la clasificación de susceptibilidad. En la tabla se observa la resolución espacial mejorada de la capa, que pasa de ser de 250 a 50 metros.

Fuente: Elaboración propia para el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2017.



Una vez obtenido el shapefile de susceptibilidad sin las áreas de la clasificación de coberturas Corine Land Cover que no corresponde a algún tipo de vegetación, se procede a crear un nuevo shapefile de susceptibilidad, al que se le crearon nuevos polígonos en las áreas sustraídas y a estas áreas se les asignó una nueva categoría dentro del rango de susceptibilidad (columna denominada *RANGOS_SUS* en la tabla de atributos de la capa de susceptibilidad) denominado NIVEL 6, el cual está conformado por todos los polígonos de coberturas CORINE Land Cover correspondientes a Territorios artificializados, Áreas abiertas sin o con poca vegetación, Áreas húmedas y superficies de agua las cuales no poseen algún tipo de vegetación. Este nivel en términos de susceptibilidad corresponde a NULO por cuanto no puede haber susceptibilidad a ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal en una zona que carece de vegetación. Para finalizar, se realiza la conversión a formato ráster y se aplica un remuestreo del archivo para obtener una resolución espacial de 50 metros (Ver Figura 4.), aumentando en 5 veces el tamaño de pixel del actual archivo ráster lo que mejora considerablemente el nivel de detalle de las áreas susceptibles.

1.1.2. Determinación de categorías de susceptibilidad en las que suceden más eventos de incendio.

Con la capa de susceptibilidad obtenida en el numeral 1.1.1. se procede a realizar ésta parte del análisis.

Teniendo en cuenta la posición espacial de cada punto de calor, se determinará en qué área de susceptibilidad se encuentra ubicado, de esta forma es posible identificar las posibles zonas en las que la capa de susceptibilidad deba ser evaluada y probablemente reconsiderar su rango de susceptibilidad debido a que presuntamente se están presentando más o menos incendios de los que la categoría de susceptibilidad tiene estimado.

Tabla 2. Fragmento de la tabla de la unión espacial entre la capa de puntos de calor y de susceptibilidad. Columna Izquierda corresponde a la fecha en la que fue identificado el punto de calor (*ACQ_DATE*). La columna central es el rango de susceptibilidad (*RANGOS_SUS*) en el que está ubicado el punto. A la derecha la hora en la que fue identificado dicho punto (*ACQ_TIME*) UTC.

ACQ_DATE	RANGOS_SUS	ACQ_TIME
28/02/2017	4	1742
28/02/2017	4	1742
28/02/2017	4	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	6	1742
28/02/2017	6	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	1	1742
28/02/2017	1	1742



Fuente: Elaboración propia.

Para identificar dichas categorías se realizó una unión espacial de los puntos de calor y de la capa de susceptibilidad. Dicha unión identifica no sólo la ubicación de los puntos dentro de la susceptibilidad, sino que además permite conocer las fechas en las que más se presentaron eventos, si hubo incendios durante la noche, entre otras inferencias. El producto de la unión espacial es una nueva capa con su correspondiente tabla de atributos que contiene la combinación de registros alfanuméricos de ambas capas (Ver Tabla 2).

1.2. COBERTURAS DE LA TIERRA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA A ESCALA 1:100.000, PERIODO 2010 – 2012vs. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA

Para determinar los principales tipos de coberturas vegetales en los que se presenta la mayor cantidad de puntos de calor, se debe identificar previamente aquellas que tienen una mayor probabilidad de sufrir daños, así como de resistir y recuperarse ante un incendio. Por lo anterior, se hace necesario identificar sus características intrínsecas (carga de combustibles, disposición y grado de combustibilidad). Esta identificación se hizo por medio del análisis de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, basada en el modelo de combustibles desarrollado por Páramo 2007. [5]. A partir de este modelo, se obtuvo el tipo de combustible dominante para cada tipo de cobertura, el cual fue publicado en el año 2011 en el documento *Protocolo Para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal Escala 1:100.00* [3] que determina el tipo de combustible predominante para las principales coberturas vegetales. Esta tabla se muestra a continuación:

Tabla 3. Biotipos representativos para las coberturas vegetales con condiciones pirogénicas más destacadas.

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	TIPO DE COMBUSTIBLE/ BIOTIPO REPRESENTATIVO
2.1.2. Cereales	Hierbas
2.3.1. Pastos limpios	Pastos
2.3.3. Pastos enmalezados	Pastos
2.4.1. Mosaico de cultivos	Hierbas
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
3.1.1. Bosque denso	Arbustos
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Árboles
3.2.1. Herbazal	Hierbas
3.2.2. Arbustal	Arbustos
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	Pastos/hierbas

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2011 [3]



A partir de la información de la tabla anterior y mediante un nuevo proceso de reclasificación por los biotipos o formas de vida dominantes, se obtuvo la tabla de duración de los combustibles a la ignición (ver Tabla 4) desarrollada en el documento realizado por Páramo 2007 [5].

Tabla 4. Duración de quema de los combustibles por biotipos representativos para las coberturas vegetales con condiciones pirogénicas más destacadas.

DURACIÓN EN QUEMARSE EL COMBUSTIBLE	FORMA Y TAMAÑO POR TIPO DE COMBUSTIBLE	BIOTIPO REPRESENTATIVO
1 HORA	Ramillas cuyo diámetro es menor a 0.6 cm	Pastos y hierbas
10-HORAS	Ramillas cuyo diámetro está entre los 0.6 y los 2.5 cm.	Arbustos y arbolitos
100-HORAS	Ramas cuyo diámetro está entre los 2.5 y los 7.5 cm.	Árboles

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2011 [3]

Con lo anterior, se agrupan los biotipos en dos grupos de combustibles:

Tabla 5. Grupos de combustibles por biotipos representativos para las coberturas vegetales con condiciones pirogénicas más destacadas

COMBUSTIBLES PESADOS	COMBUSTIBLES LIVIANOS
Árboles	Hierbas
Condominancia de árboles y arbustos	Condominancia de hierbas y pastos
Arbustos	Pastos

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2011 [3]

Finalmente, para determinar la susceptibilidad de las coberturas a incendios se identifica que los tipos de combustibles/biotipos representativos se califican en un rango de 1 a 7, otorgándole los mayores valores a aquellos biotipos que inducen a que exista una mayor susceptibilidad, como se presenta a continuación:

Tabla 6. Calificación de susceptibilidad a incendios para los biotipos representativos de las coberturas vegetales con condiciones pirogénicas más destacadas.

TIPO DE COMBUSTIBLE/ BIOTIPO REPRESENTATIVO	CALIFICACIÓN
Árboles	2
Árboles y arbustos	3
Arbustos	4
Hierbas	5
Pastos / hierbas	6
Pastos	7
No combustibles	1
Áreas urbanas	1

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2011 [3]



Una vez analizada la condición pirogénica de las principales coberturas vegetales y teniendo en cuenta la posición espacial de cada punto de calor, se determinará en cuál cobertura vegetal se encuentra ubicado, de esta forma es posible determinar cuál(es) tipo(s) de vegetación requiere(n) especial atención con el fin de facilitar la identificación de las zonas en las que es propicio emitir alertas tempranas.

Para identificar dichas coberturas se realizó una unión espacial de los puntos de calor y de Coberturas de la Tierra Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia a Escala 1:100.000, Periodo 2010 – 2012. El producto de la unión espacial es una nueva capa con su correspondiente tabla de atributos que contiene la combinación de registros alfanuméricos de ambas capas. (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Fragmento de la tabla de la unión espacial entre la capa de puntos de calor y de Coberturas de la Tierra Metodología Corine Land Cover Adaptada Para Colombia a Escala 1:100.000, Periodo 2010 – 2012. Columna Izquierda correspondiente a la fecha en la que fue identificado el punto de calor (ACQ_DATE). La columna central es la hora en la que fue identificado el punto de calor (ACQ_TIME) UTC. A la derecha la cobertura de la tierra en la que se encuentra ubicado dicho punto

ACQ_DATE	ACQ_TIME	LEYENDA3N
08/02/2017	1900	2.1.1. Otros cultivos transitorios
08/02/2017	1900	2.1.1. Otros cultivos transitorios
08/02/2017	1900	2.1.1. Otros cultivos transitorios
28/01/2016	1830	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1830	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1830	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1825	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1825	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1825	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1825	2.1.2. Cereales
28/01/2016	1825	2.1.2. Cereales

Fuente: Elaboración propia.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan las inferencias realizadas a partir de las uniones espaciales de las capas objeto de estudio.

2.1. SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A LOS INCENDIOS

Tomando una serie temporal de 172921 puntos de calor del periodo comprendido entre el 8 de Enero de 2016 y el 28 de Febrero de 2017, se obtuvo que el 30,1% de los puntos se encuentra ubicado en la categoría BAJA de susceptibilidad. Estos puntos se están contenidos en el 11% de los registros de esta categoría. Lo anterior indica que aproximadamente 1700 de los 15500 polígonos del rango de susceptibilidad 1 deberían ser revisados para definir si es pertinente reubicarlos en una categoría superior. (Ver Figura 5).

Por otra parte, el 22% del total de los puntos está localizado en la categoría ALTA, seguido de la categoría MUY ALTA con un 17,4%. Por consiguiente, el 40% de los



puntos hacen parte de estas categorías, ratificando de este modo que gran parte de las áreas calificadas con estas susceptibilidades se encuentran correctamente clasificadas. Estos puntos se encuentran ubicados en el 19% de los registros de dichas categorías que en cifras equivale en 5695 de los 29041 polígonos que las conforman. (Ver Figura 6).

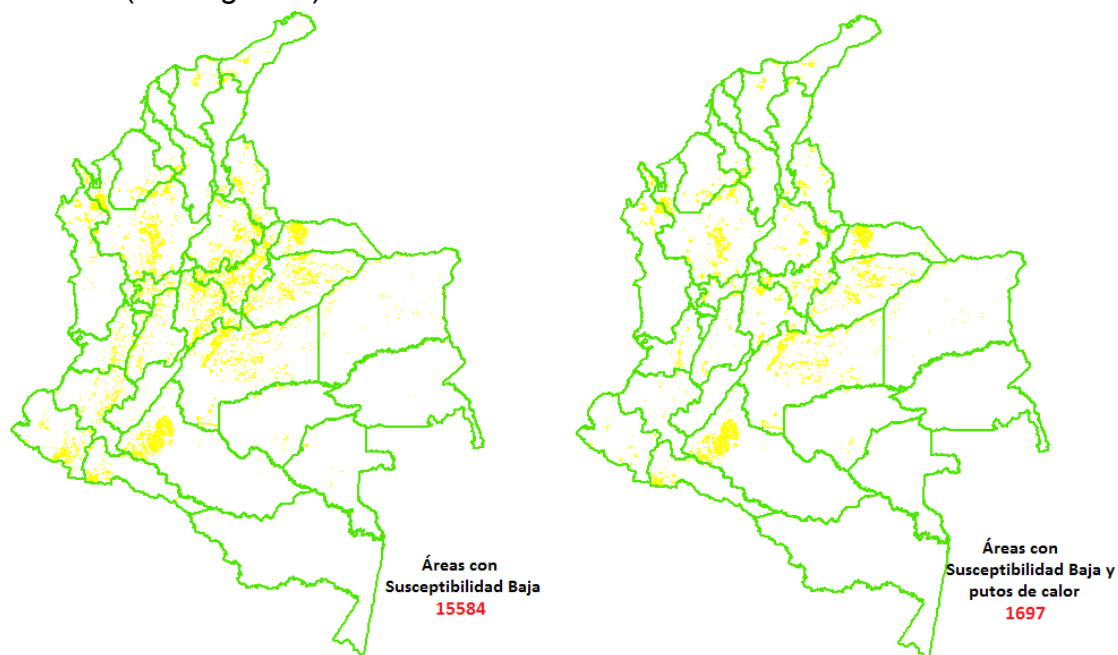


Figura 5. Polígonos con susceptibilidad baja a incendios de la cobertura vegetal totales (izquierda) y con puntos de calor interceptados (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

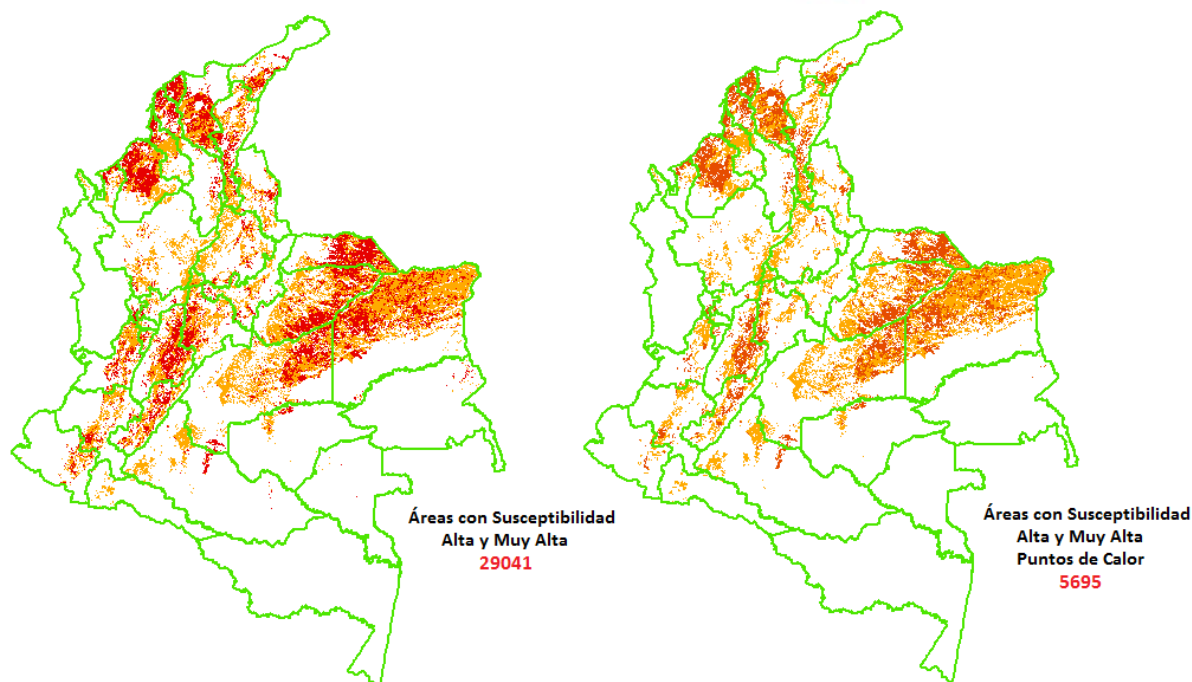


Figura 6. Polígonos con susceptibilidad baja a incendios de la cobertura vegetal totales (izquierda) y con puntos de calor interceptados (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la temporalidad de los datos, cabe destacar que el 60% de los puntos de calor sucedieron en el primer trimestre del año, siendo el mes de marzo el que cuenta con la mayor cantidad de ellos superando los 40000 puntos (25%). En los meses de Enero y Febrero se identificaron más de 60000 puntos lo cual es una cifra notable teniendo en cuenta la cantidad de datos de la serie. En contraste a lo anterior, los meses con menos puntos fueron Mayo con menos del 1% del total y Junio que también obtuvo un valor poco más alto de los 1500. Ya para los meses de Agosto y Septiembre se presenta un ligero incremento con porcentajes de 3,5% y 2,3% respectivamente. En Octubre y Noviembre inicia nuevamente el descenso de cantidad de puntos, que entre los dos meses sólo alcanza la suma de 6000. Este comportamiento de ascenso y descenso de puntos de calor a lo largo del año, se explica por la precipitación mensual que obedece a patrones de tipo monomodal, bimodal e interacciones de los dos anteriores, en donde Las regiones con un solo período de lluvias en el año presentan comportamientos de tipo monomodal; éstos ocurren en la región de los Llanos orientales y en la región Amazónica con máximos de lluvia en los meses de Junio, Julio y Agosto, mientras que en las regiones de influencia directa de los alisios del Norte como son las Llanuras del Caribe, La Guajira y la región del río Catatumbo presentan una distribución monomodal con un período seco definido entre diciembre y marzo, con las mayores cantidades de lluvia en los meses de octubre y noviembre. El régimen bimodal se presenta para la mayor parte de la región Andina y de la región Caribe con excepción de la región del Bajo Nechi; este comportamiento se caracteriza por presentar dos picos notables en el año con aumento de precipitaciones, en donde el trimestre de Marzo, Abril y



Mayo, junto con los meses de Octubre y Noviembre son los que presentan una precipitación acumulada más alta que en los demás meses del año.[7]

La temperatura media del aire en Colombia está marcada por un patrón determinado por la altitud y también representa un factor clave para explicar la ubicación de los puntos de calor. En las regiones de la Orinoquia y Amazonía, al no existir accidentes geográficos notables, se identifica una distribución bastante homogénea de la temperatura que presenta valores entre los 24°C y 28°C. En general para la región Andina, se presenta una un régimen bimodal en su temperatura, en el sector del Catatumbo, las temperaturas medias presentan un comportamiento monomodal. Por su parte, el Pacífico Norte y Central, el régimen de las temperaturas medias es muy uniforme a lo largo del año. En el Piedemonte Llanero, los primeros y últimos meses del año tienen la particularidad de presentar las temperaturas más elevadas, mientras que los de mediados de año presentan los valores más bajos. [7]

Finalmente, se identificó que el 84% de los puntos de calor fueron captados por VIIRS 375 en horas del día, lo cual es coincidente debido a que entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde es el periodo de tiempo en el cual se presentan las máximas temperaturas.

2.2. COBERTURAS DE LA TIERRA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER

El análisis espacial obtenido a partir de la unión de atributos de la capa de coberturas y de puntos de calor determina que aproximadamente 60000 puntos equivalentes al 35% del total se ubicó en la cobertura 3.2.1. correspondiente a Herbazales, el cual representa un tipo de combustible vegetal con una calificación de 5 - 6/7 en cuanto a susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios, esto debido a su forma de ramillas cuyo diámetro no superan los 6 milímetros [4] y de su consistencia blanda en todos sus órganos que tarda en quemarse en 1 hora aproximadamente.

En segundo lugar se ubican los bosque densos (3.1.1. en la codificación de CLC) con un 13,6% del total. Este nivel se constituye por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos. Estas formaciones no han sido intervenidas por el hombre, o su intervención ha sido selectiva y no ha sido afectada su estructura original y características funcionales. [4].

EL 10% de los puntos se encuentra sobre la cobertura de pastos limpios (codificación 2.3.1. de CLC) cuya presencia se debe en un alto porcentaje a acción antrópica, lo cual lo diferencia de las coberturas mencionadas anteriormente. Estas zonas son dedicadas al pastoreo y pueden presentar anegamientos temporales o permanentes si se encuentran ubicados en zonas bajas. [4]

En general los pastos ya sean enmalezados, limpios o que conformen un mosaico con cultivos y/o espacios naturales suman un total de 31000 puntos de calor lo que equivale al 18% de los elementos de la serie. Los pastos al igual que los herbazales poseen condiciones pirogénicas similares lo que los hace parte de los combustibles



livianos con susceptibilidades significativas que para el caso de los pastos cuenta con una calificación de 6-7/7.

A lo largo del territorio colombiano se localizan en extensas zonas de herbazales y pastizales que conforman las sabanas de los Llanos Orientales y las áreas sin predominio de cobertura selvática de la región de la Amazonia. Igualmente en amplias zonas de la región Andina se identifican extensas áreas de herbazales, pajonales, pastizales y bosques bajos de las zonas altoandinas y de páramo del territorio nacional. En general los pastizales se encuentran asociados a una gran variedad de relieves y climas colombianos. [4].

En los bosques (codificación 3.1. de CLC) se encuentran el 20% de las anomalías térmicas. Estas coberturas se constituyen principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Son plantas perennes y leñosas con un solo tallo principal. Los árboles y arbustos tienen una calificación de 3 – 4/7 lo cual la ubica en una posición intermedia de susceptibilidad a incendios. Esto se debe a su clasificación de combustible pesado que tarda en quemarse entre 10 y 100 horas dependiendo del diámetro de las ramillas o ramas que los conformen.

Como dato general se identifica que el nivel 3 de la clasificación Corine Land Cover es el que cuenta con más del 63% del total de los puntos. Este nivel denominado Bosques y Áreas Seminaturales, comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos. [4].

Aunque la mayoría de los puntos de calor se encuentran ubicados sobre coberturas vegetales predominantemente, se destacan algunas capas que no se caracterizan por poseer extensas áreas vegetales. Tal es el caso de las zonas pantanosas (codificación 4.1.1. de CLC) que en promedio presentan un 30% de vegetación y en la cual se identificaron el 3% de los puntos de calor. Un caso similar ocurre con las superficies de agua que cuenta con un 2% de los datos de la serie.

3. CONCLUSIONES

Al identificar que casi el 50% de los puntos de calor de la serie temporal se encuentran ubicados en las categorías BAJA y MUY BAJA de la capa de susceptibilidad de la vegetación a incendios, se recomienda realizar la actualización de este insumo que no ha sido revisado desde el año 2007. Para realizar este ajuste, se puede por ejemplo, adaptar el modelo de combustibles desarrollado por Páramo en el año 2007. En ese sentido, para determinar la condición pirogénica de la vegetación se reconoce en la clasificación Corine Land Cover una valiosa herramienta que permite, dada su especificidad, una importante aproximación a las condiciones reales del terreno.



Teniendo en cuenta la distribución espacial de la serie temporal de puntos de calor tomados para el desarrollo del presente artículo, se identificó que las coberturas vegetales más afectadas son las sabanas, herbazales y pastizales, los rastrojos, cultivos, bosque natural denso y vegetación xerofítica que caracterizan las llanuras de Colombia, y algunas zonas de las regiones Caribe y Andina predominantemente. Algunas de las posibles causas de estos incendios sobre estas coberturas pueden ser acciones humanas intencionales o no intencionales y en menor medida las condiciones hidrometeorológicas de la zona, ya que al no presentarse precipitaciones importantes y temperaturas máximas destacadas se incrementa el grado de susceptibilidad.

Es importante sensibilizar a las autoridades competentes sobre la necesidad de realizar inversión en la gestión del riesgo del medio forestal lo que se traduce en una sociedad ambientalmente responsable que propende por la disminución de daños ambientales, ya que al contar con más y mejores herramientas que permitan la emisión de alertas tempranas se disminuyen los costos de ambientales y sociales de lo que se puede perder y afectar con un incendio forestal de gran magnitud. Así mismo, realizar mayor inversión en la gestión del riesgo a incendios de la cobertura vegetal, facilita la cuantificación económica de los servicios ambientales que generan los bosques a la sociedad como lo son la regulación y aporte de agua, la fijación de CO₂, la protección frente a inundaciones y fragmentaciones del paisaje, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dwyer, E., Grégoire, J.-M. & Malingreau, J.P.,1998. A global analysis of vegetation fires using satellite images: Spatial and temporal dynamics, *Ambio*, 27(3), pp. 175-181.
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Manejo del Fuego. Fuegos Forestales y de otra Vegetación*. En: <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>.
- [3] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura Vegetal - Escala 1:100.00. Bogotá, Colombia. pp. 14, 35-40.
- [4] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, Colombia, pp. 21-61.
- [5] MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - FONADE, Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo, (2007), Análisis, Diagnóstico y Elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia. Contrato de Consultoría No. 2062372 (MAVDT (Ahora MADS) -FONADE) y Gabriel Eduardo Páramo Rocha (Biólogo). . Bogotá, Colombia, Pp 11,45, 88.

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL
Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

[6] FIRMS Fire Information for Resource Management System, VIIRS I-Band 375 m Active Fire Data, 2017. En: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-realtime/firms/viirs-i-band-active-fire-data>.

[7] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2013), Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F., Climatología Trimestral de Colombia. En: <http://www.ideam.gov.co/>