

Aplicación de imágenes satelitales del sensor MODIS en la Gestión de Riesgos.

Presentado por:

Jhonny Alejandro Ramos Ramírez

Modalidad de grado:

Monografía

Director:

Sergio Miguel González Palacios

Universidad Santo Tomás
División de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá Colombia
2020

Aplicación de imágenes satelitales del sensor MODIS en la Gestión de Riesgos.

Presentado por:

Jhonny Alejandro Ramos Ramírez

Trabajo de grado para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Sergio Miguel González Palacios

Universidad Santo Tomás
División de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá Colombia
2020

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto a mi familia que con mucho esfuerzo, comprensión y dedicación me han guiado en todo el transcurso de mi vida. Gracias a sus enseñanzas y al sistema de creencias que han sembrado en mí, me han ayudado a encarar los problemas con el deseo de tener un mayor crecimiento personal y de superación.

La Universidad Santo Tomás no asume ninguna responsabilidad por los contenidos de los documentos de las Opciones de Grado, la cual corresponde exclusivamente a los autores y al Director de la Opción de Grado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
Identificación del problema:	19
Descripción detallada del Proyecto:.....	20
Justificación	21
Objetivos	23
General	23
Específicos	23
Ventajas y limitaciones respecto al Sensor remoto MODIS en el marco de la gestión del riesgo.	24
Teledetección	24
Fundamentos Físicos de la Teledetección.....	27
Radiación Electromagnética	27
El Espectro Electromagnético	30
Principios y Leyes de la Radiación Electromagnética	34
Términos y Unidades de Medida.....	34
Interacción de la Radiación con las Cubiertas Terrestres	35
Caracterización Espectral de las Diferentes Coberturas Terrestres.....	37
Comportamiento Espectral de la Vegetación	37
Comportamiento Espectral del Suelo	39

Comportamiento Espectral del Agua	41
Sensores y Satélites Espaciales	42
Sensor	42
Tipos de Sensores.....	43
Sensores Activos Formadores de Imágenes.....	43
Sensores Pasivos Formadores de Imágenes.....	43
Resolución de un Sistema Sensor	44
Resolución Espacial	44
Resolución Espectral	45
Resolución Radiométrica	45
Resolución Temporal	46
Plataformas de Teledetección Espacial	47
Sistema de Observación de la Tierra (EOS).....	48
Terra y Aqua.....	49
Determinación del Evento de Desastre con Mayor Frecuencia en el Departamento del Tolima.	57
Amenazas	57
Inundaciones.....	58
Movimientos en Masa	58
Incendios Forestales	58
Sequías	59

Avenidas Torrenciales	59
Caracterización del Área de Estudio	60
Generalidades	60
Del Clima y la Dinámica Atmosférica.	60
De los Movimientos en Masa y los Terrenos Geológicos.....	61
Departamento del Tolima.....	63
Población.....	64
Vocación Económica y Nivel de Desarrollo	65
Condiciones Hidro climáticas	67
Condiciones Geológicas	67
Análisis de Eventos Recurrentes	68
Metodología	68
Resultados	69
Análisis Especifico por cada Evento de Desastre	72
Análisis Histórico de Eventos por Inundación	72
Análisis Histórico de Eventos por Movimientos en Masa	74
Análisis Histórico de Eventos por Incendios Forestales	75
Análisis Histórico de Eventos por Sequías	76
Análisis Histórico de Eventos por Avenidas Torrenciales.....	77

Propuesta del uso aplicativo del sensor MODIS en el desarrollo de cartografía temática del evento de desastre de mayor frecuencia en el departamento del Tolima.	78
Integración de los Factores.....	78
Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios Forestales	79
Generación del Mapa de Tipo de Combustibles	79
Generación del Mapa de Duración de Combustibles	80
Generación del Mapa de Carga de Combustibles	82
Factor Climático	83
Precipitación.....	83
Temperatura	84
Factor Relieve	85
Factor Histórico.....	85
Factor Accesibilidad.....	86
Generación del Mapa de Amenazas por Incendios Forestales	87
Normalización	87
Insumos	89
Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios Forestales	89
Factor Climático	89
Factor Relieve	89
Factor Histórico.....	90

Factor Accesibilidad.....	91
Mapa de Amenaza	91
Definición de la Escala y del Sistema de Coordenadas	91
Resultados	93
Susceptibilidad por Tipo de Combustible	94
Susceptibilidad por Duración de Combustible.....	96
Susceptibilidad por Carga Total de Combustible.....	98
Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios	100
Factor Climático	102
Precipitación.....	102
Temperatura	104
Factor Relieve	106
Factor Histórico.....	108
Factor Accesibilidad.....	110
Mapa de Amenaza de Incendios Forestales en el Departamento del Tolima.....	112
Posibles Aplicaciones del sensor MODIS en las Etapas Preparatorias del Presente	
Ejercicio.	114
Aplicaciones del Sensor MODIS en el Manejo de Incendios Forestales	116
Producto MCD 64 A1 en la Detección de Áreas Quemadas.....	116
Producto MOD 09 A1	117

Conclusiones	119
Recomendaciones	121
REFERENCIAS.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formas de Teledetección: (i) reflexión; (ii) emisión; (iii) reflexión-emisión. Chuvieco (2010).	24
Figura 2 Componentes de un sistema de Teledetección. (Sancha, 2016)	26
Figura 3 Propagación en el espacio de una onda electromagnética. (Tipler, 1994)	28
Figura 4 Espectro electromagnético. Chuvieco (2010).	32
Figura 5 Descomposición del flujo solar incidente. (Sobrinho, 2000)	37
Figura 6 Signaturas espectrales típicas de diferentes cubiertas (datos del GER-2600). Chuvieco (2010).	39
Figura 7 Desembocadura del río Magdalena en el Mar Caribe, Bocas de Ceniza (Barranquilla). Imagen Landsat 8 con los instrumentos OLI/TIRS. USGS (2020).	42
Figura 8 Comparación de resolución espacial.	44
Figura 9 Comparación de resolución radiométrica.	45
Figura 10 Imágenes del Meteosat sobre el huracán Andrew (cortesía ESA)	47
Figura 11 Funcionamiento de un radiómetro de barrido. (Sobrinho, 2000).	50
Figura 12 Organización de los productos Modland en tiles. Tomado de François (2011).	52
Figura 13 Integración de factores para la generación del mapa de amenaza.	79
Figura 14 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de tipo de combustible.	94
Figura 15 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de duración de combustible.	96

Figura 16 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de carga total de combustible.....	98
Figura 17 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima.	100
Figura 18 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de precipitación.....	102
Figura 19 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de temperatura.	104
Figura 20 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de relieve.....	106
Figura 21 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor histórico.	108
Figura 22 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de accesibilidad.....	110
Figura 23 Mapa de la distribución de la amenaza de incendios forestales en el departamento del Tolima.	112
Figura 24 Esquema de los factores que integran el mapa de amenaza de incendios y el análisis de las aplicaciones de los productos MODIS en las etapas para su generación.	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Magnitudes radiométricas comúnmente utilizadas en Teledetección.....	34
Tabla 2 Especificaciones generales del sensor MODIS	51
Tabla 3 Especificaciones de las bandas espectrales.....	54
Tabla 4 Ventajas y limitaciones del sensor remoto MODIS.....	56
Tabla 5 Total de municipios del departamento del Tolima	64
Tabla 6 Calificación y categorización de la amenaza por tipo de combustible.	80
Tabla 7 Calificación y categorización de la amenaza por factor de duración de combustibles....	81
Tabla 8 Calificación y categorización de la amenaza por factor de carga total de combustibles.	82
Tabla 9 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor de precipitación.....	84
Tabla 10 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor de temperatura.	84
Tabla 11 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor relieve.	85
Tabla 12 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor accesibilidad.....	86
Tabla 13 Imágenes satelitales ASTER.....	90
Tabla 14 Porcentajes de categorías de amenaza por Tipo de combustible.	95
Tabla 15 Porcentajes de categoría de amenaza por duración de combustible.	97
Tabla 16 Porcentajes de categoría de amenaza por carga total de combustible.	99
Tabla 17 Porcentajes de categoría de amenaza de susceptibilidad a los incendios.	101
Tabla 18 Porcentajes de categoría de amenaza por precipitación.....	103

Tabla 19 Porcentajes de categoría de amenaza por temperatura.	105
Tabla 20 Porcentajes de categoría de amenaza por relieve.....	107
Tabla 21 Porcentajes de categoría de amenaza por factor histórico.	109
Tabla 22 Porcentajes de categoría de amenaza por factor accesibilidad.	111
Tabla 23 Porcentajes de categoría de amenaza de incendios forestales.	113

LISTA DE ANEXOS

Mapa de Tipo de Combustibles	126
Mapa de Duración de Combustibles	127
Mapa de Carga de Combustibles	128
Mapa de Susceptibilidad de la Vegetación a Incendios.....	129
Mapa de Factor Climático (Precipitación).....	130
Mapa de Factor Climático (Temperatura).....	131
Mapa de Factor Relieve	132
Mapa de Factor Histórico.....	133
Mapa de Factor Accesibilidad	134
Mapa de Amenaza por Incendios Forestales	135

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.	IRC: infrarrojo cercano.
AMSR-E: Advanced Microwave Scannig Radiometer for EOS.	IRM: infrarrojo medio.
AIRS: Armospheric Infrared Sounder.	IRT:infrarrojo térmico.
AMSU-A: Advanced Microwave Sounding Unit.	INVÍAS: Instituto Nacional de Vías.
CERES: Clouds and the Earth's Radiant Energy System.	MISR: Multi-angle Imaging Spectroradiometer.
CNCRD: Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo de Desastres.	MOPITT: Measurement of Pollution in the Troposphere.
DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.	MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
ENOS: El Niño-Oscilación del Sur	NG: Niveles de Grises.
EOS: Earth Observing System	ND: Niveles Digitales.
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.	NASA: National Aeronautics and Space Administration.
GRD: Gestión del riesgo de desastres.	ONU: Organización de las Naciones Unidas.

HDF: Hierarchical Data Format.

UNGRD: Unidad Nacional para la
Gestión del Riesgo.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

ZCIT: Zona de Convergencia
Intertropical.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales.

IDW: Inverse Distance Weighted.

INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo representa hoy día una necesidad, ya que a través de su estudio es posible analizar la exposición y vulnerabilidad de los territorios ante cualquier tipo de amenaza que se presente. El documento *Impactos de los Eventos Recurrentes y sus Causas en Colombia* menciona las inundaciones, sequías, movimientos en masa, avenidas torrenciales y los incendios forestales como los eventos más recurrentes en toda la extensión del territorio colombiano. Partiendo de estos cinco eventos se emprende un análisis para determinar ¿Cuál de estos eventos se presenta con mayor asiduidad en el departamento del Tolima?

En el Congreso Salud y Desastre, organizado por el Centro Latinoamericano de Medicina de Desastres (Ministerio de Salud Pública de Cuba) del 20 al 22 de marzo de 2013, la ONU manifestó que por cada dólar invertido se puede ahorrar hasta 7 dólares en manejo del desastre (UNGRD, 2018). Lo que supone que, para la toma de decisiones o el manejo adecuado de desastres los conocimientos previos que se tenga al respecto involucran ser el insumo fundamental. Así que, analizar aquellas herramientas tecnológicas que contribuyan a tener un mayor conocimiento de la superficie terrestre también representa una ayuda fundamental para caracterizar el grado de amenaza, y es ahí, donde destaca el uso de la teledetección como técnica y del sensor MODIS como sensor espacial.

El documento cuenta con una primera parte en la que se describen los aspectos del marco teórico más relevantes de la teledetección y del sensor MODIS, una segunda parte que contiene información acerca de los eventos recurrentes, la caracterización del área de estudio y el análisis estadístico para la determinación del evento de mayor frecuencia en el departamento del Tolima, y una tercera parte que incluye un ejercicio que pone en práctica los conocimientos adquiridos durante el proceso de estudio y emplea como recurso los productos de la teledetección.

Identificación del problema:

Chuvieco (2010), afirma: “cuando se plantea un proyecto de investigación, intentamos validar nuevos métodos, datos o aplicaciones, con una cierta posibilidad de que no conduzcan a avances significativos: a veces se olvida que negar la hipótesis de partida es tan científico como ratificarla”. Ciertamente, la teledetección suele ser idealizada como un medio que soluciona cantidad de problemáticas. No obstante, existen limitaciones inherentes a la técnica (Teledetección y Fotogrametría) y al sensor. De este modo y, conforme al contexto del presente proyecto, la problemática fundamental radica en determinar si la técnica y/o sensor sirven de soporte en la reducción y manejo del desastre que se presenta con mayor asiduidad en el departamento del Tolima y, de ser así, en qué medida lo hacen.

Queda de manifiesto, que las ayudas tecnológicas en la vida humana han sido fundamentales para solventar diferentes problemáticas. Ahora bien, los impactos detonados por desastres asociados a eventos recurrentes afectan directamente a la sociedad y su economía, además del daño ambiental provocado a la vida silvestre. Con la finalidad de obtener soluciones y mitigar los daños provocados por los mismos, el presente proyecto busca articular la teledetección en la gestión del riesgo, de manera que, se evalué las aplicaciones de esta en el evento de mayor riesgo.

Descripción detallada del Proyecto:

El presente proyecto nace de cuestionar el papel de las imágenes satelitales aplicadas en la gestión del riesgo. Con respecto a lo anterior, la elección de la Teledetección frente a otros medios se debe a su desarrollo y al cumplimiento de una serie de criterios relacionados a la captura de información, entre los cuales se mencionan: homogeneidad, objetividad, exactitud, descentralización, rapidez de ejecución, actualización en plazos lógicos e independencia de los métodos de captura.

El proyecto contemplará tres capítulos, en un primer capítulo se expone la información correspondiente a los fundamentos de la teledetección y sus limitaciones respecto al sensor remoto MODIS en el marco de la gestión del riesgo. Esto se hace con el fin de dar una visión más global de la teledetección como una herramienta encaminada en el manejo y control de desastres.

En un segundo capítulo se expondrá la información referente al área de estudio (departamento del Tolima) y de manera no demasiado exhaustiva sus características geográficas, también se llevará a cabo una evaluación de los eventos más recurrentes en el departamento para determinar cuál se presenta con mayor frecuencia, teniendo como referencia los reportes de eventos de la base de datos de DESINVENTAR y el documento *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia*, en donde, están consignadas estadísticas con los índices de afectación por región para diferentes tipos de eventos.

En un tercer capítulo se expondrá la información referente a la metodología manejada a nivel nacional por entidades como el IDEAM y la UNGRD en el manejo y control del desastre abordado.

Justificación

La teledetección es una técnica que ha revolucionado todo el campo de la adquisición de datos territoriales, cantidades de tareas laboriosas y mecánicas aplicadas a la meteorología y climatología, la oceanografía y las ciencias de la Tierra son abordadas gracias a su implementación, dentro del grupo de aplicaciones de la teledetección que se extienden en variedades de disciplinas se pueden mencionar los estudios de erosión en playas y arenas, inventarios de recursos para estudios de impacto ambiental, cartografía geológica, control de la acumulación nival y de movimientos de iceberg, entre otros (Pérez Gutiérrez & Muñoz Nieto, 2006), además de poner a nuestra disposición sistemas integrados de datos territoriales con gran resolución espacial, radiométrica, espectral y de gran periodicidad (Arozarena Villar , Otero Pastor, & Esquerra Canalejo, 2016).

La mayoría de las aplicaciones de la Teledetección hacen presencia en temática cartográfica y medio ambiental, esto sugiere que tiene un amplio rango de aplicaciones que posiblemente son de utilidad en la gestión del riesgo y, aún más considerando que es una técnica que va en creciente desarrollo. Teniendo en consideración, que el interés por la Teledetección viene dado por su capacidad de generar información temática, está no se limita simplemente a generar información de la cobertura del suelo y vegetación (Chuvieco, 2010).

La observación meteorológica hace presencia en los procesos de la gestión del riesgo (conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres), ya que los fenómenos hidrometeorológicos están asociados a la detonación de algún tipo de evento de desastre. Estos procesos suponen estudiar los factores que inducen a tener un mayor riesgo, Por tanto, se infiere

que el clima y la dinámica atmosférica representan ser algunos de estos factores detonantes de los eventos de desastre presentes en el territorio.

Además del análisis y seguimiento de los fenómenos hidrometeorológicos otras variables que son medidas de modo directo gracias a la Teledetección son: la reflectividad en el espectro solar, la temperatura en el infrarrojo térmico, el cociente de retrodispersión en microondas, la altitud, la medición de distancias con lidar y la topografía de la superficie marina (batimetría). Estos solo son ejemplos de las variables directas que son función de los datos adquiridos por el sensor, existen también las variables indirectas que derivan de las modificaciones de la señal recibida por el sensor y amplían su rango de aplicaciones (Chuvieco, 2010).

Todos los fenómenos de estudio bajo la óptica de la teledetección dependen en gran medida de la resolución del sensor. Por tal motivo, el número de aplicaciones es considerable y no se ve tan limitado cuando se dispone de un sensor con distintas resoluciones y capacidad hiper espectral. El MODIS por su parte representa ser el primero en esta clase de sensores, cuenta con 36 bandas a diferentes rangos espectrales y con resolución espacial que va desde los 250-1000 m. Una de las novedades más interesantes del sensor MODIS es que tanto las imágenes originales como todos los productos derivados se encuentran accesiblemente a través de internet de manera libre y gratuita (Chuvieco, 2010, p.147).

Objetivos

General

Analizar la posibilidad de abordar la gestión de riesgos en el departamento del Tolima a partir del empleo de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS desde la perspectiva de la Ingeniería Civil.

Específicos

- Describir las ventajas y limitaciones del sensor remoto MODIS en el marco de la gestión del riesgo.
- Determinar cuál evento de desastre se ha manifestado con mayor frecuencia en el departamento del Tolima.
- Proponer usos aplicativos del sensor MODIS en el desarrollo de cartografía temática del evento de desastre de mayor frecuencia en el departamento del Tolima.

Ventajas y limitaciones respecto al Sensor remoto MODIS en el marco de la gestión del riesgo.

Para abordar el tema de las ventajas y limitaciones del sensor MODIS en el campo de la gestión del riesgo es importante abordar los conceptos generales de la teledetección y de los sensores remotos como instrumentos de adquisición de información terrestre, en el presente capítulo se hace una breve descripción del sistema plataforma/sensor y del instrumento MODIS de acuerdo con sus características.

Teledetección

La teledetección es una técnica que nos permite obtener información a distancia de la superficie terrestre, reconocer sus características y los fenómenos que en ella tienen lugar a partir de los datos registrados por el sensor (Sobrino, 2000). Esto es posible, gracias a un medio de interacción entre el sensor y objeto denominado flujo energético. Este flujo de energía constituye ser una forma de radiación electromagnética que se manifiesta de tres formas: por emisión, reflexión y emisión-reflexión.

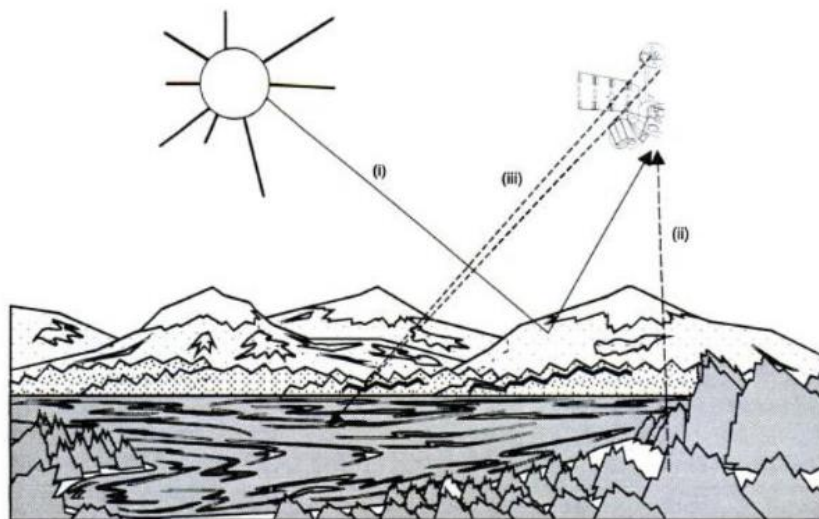


Figura 1 Formas de Teledetección: (i) reflexión; (ii) emisión; (iii) reflexión-emisión. Chuvieco (2010).

El ser humano puede percibir un objeto solo cuando puede descifrar la información que este le envía. Por ejemplo, el ser humano es capaz de percibir y traducir la presencia de un árbol, porque el ojo recibe y traduce convenientemente una energía luminosa proveniente del mismo (Chuvieco, 2010, p.43). Este ejemplo sirve para introducir los tres elementos principales de cualquier sistema de teledetección: sensor (ojo), objeto (Árbol) y flujo energético que es el puente entre ambos.

Este flujo energético sigue el siguiente proceso: 1. Es irradiado por partículas atómicas desde el sol, 2. Se propaga a través del espacio a la velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$) hasta que choca con el campo magnético de la Tierra, 3. Interactúa con la atmósfera, 4. Interactúa con la superficie terrestre retro-dispersándose o transformándose, 5. Interactúa nuevamente con la atmósfera y 6. Finalmente alcanza el sensor/plataforma, que luego transmite esa información a estaciones receptoras en la Tierra (IGAC, 2007).

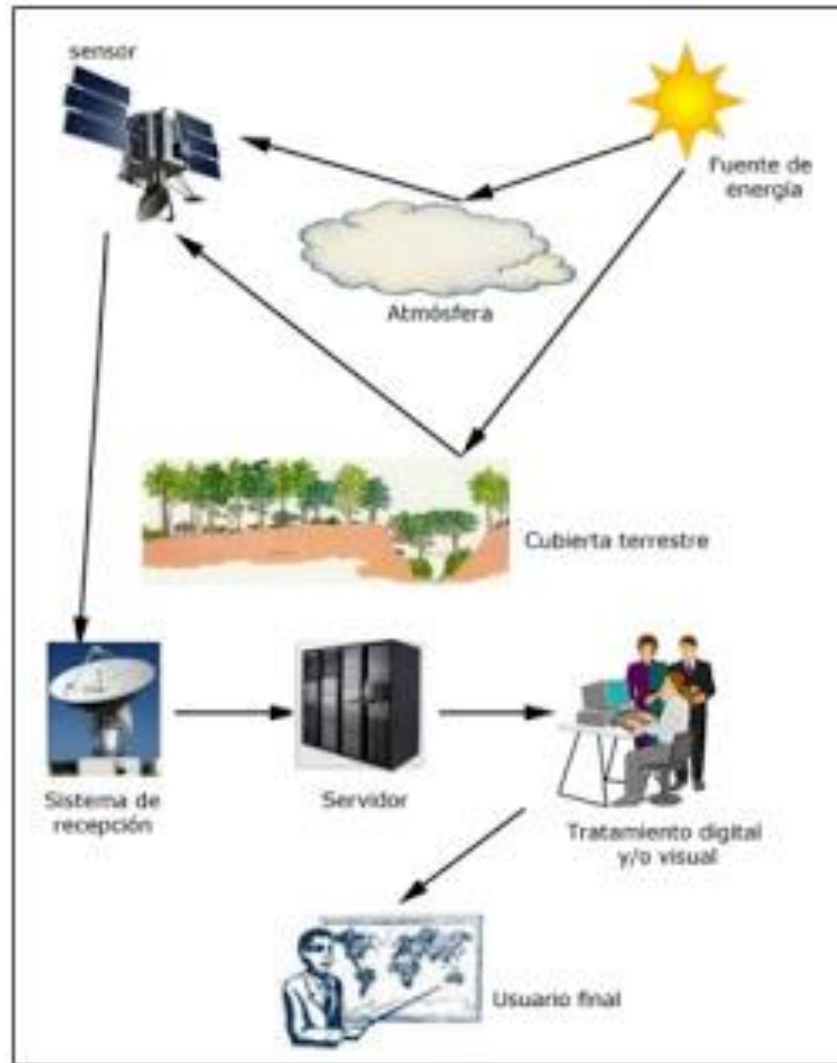


Figura 2 Componentes de un sistema de Teledetección. (Sancha, 2016)

Fundamentos Físicos de la Teledetección

Mecanismos de transmisión de energía

La energía se transfiere de un lugar a otro mediante tres procesos que son conducción, convección y radiación.

Conducción: es la transferencia de energía a partir de interacciones de los átomos y moléculas que no suponen un transporte de estas (IGAC, 2007).

Convección: es la transferencia de energía por movimiento físico de los cuerpos, es decir, el calor se desplaza mediante un transporte directo de un tipo de masa. (IGAC, 2007)

Radiación: la energía se transmite de un lugar a otro siguiendo un movimiento ondulatorio armónico y continuo, que conforma dos campos ortogonales entre sí: el campo eléctrico y campo magnético. La transferencia de energía por radiación electromagnética es la más importante para los sensores remotos, porque esta es la base de estudio para adquirir información terrestre y es la única forma de transferencia de energía en el medio vacío como el que se encuentra entre el sol y la tierra (IGAC, 2007).

Radiación Electromagnética

Como ya se mencionó, la energía electromagnética es una forma de transferencia de energía que suscita un mayor interés que las otras formas de transferencia de energía en el campo de la teledetección.

La radiación electromagnética está fundamentada mediante dos teorías que en algún tiempo fueron contrapuestas, pero actualmente, las dos teorías se complementan y describen las

propiedades de la radiación satisfactoriamente. Esta energía radiante (radiación) se ha estudiado físicamente teniendo en cuenta ambos planteamientos, en los cuales inciden tanto las leyes del movimiento ondulatorio, a nivel macroscópico (Huygens, Maxwell) como las de la teoría cuántica (unidades discretas de energía = fotón) a nivel microscópico (Planck y Einstein), (Arozarena, Otero, & Ezquerro, 2016, pág. 46).

El primer planteamiento describe que la radiación electromagnética se transmite de un medio a otro a la velocidad de la luz ($3 \times 10^8 m s^{-1}$) siguiendo un movimiento ondulatorio armónico y continuo, que contiene dos campos ortogonales entre sí: magnético y eléctrico. Gracias a esta teoría la propagación de la luz (energía) puede describirse en función de los componentes normales de cualquier movimiento armónico: la longitud de onda (λ) y frecuencia (f), (IGAC, 2007, pág. 18). La frecuencia, indica el número de ciclos que pasan por un mismo punto fijo en unidad de tiempo y longitud de onda la distancia entre picos sucesivos de una onda.

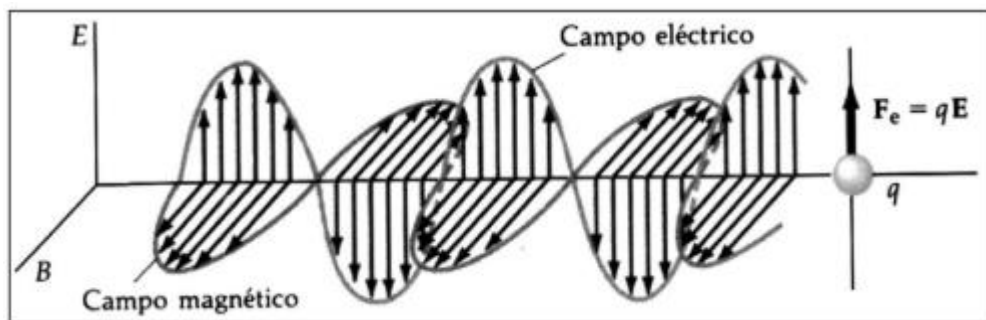


Figura 3 Propagación en el espacio de una onda electromagnética. (Tipler, 1994)

Ambos elementos están inversamente relacionados como se puede observar en la ecuación (1). Así que, a mayor frecuencia las longitudes de onda serán más cortas.

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Siendo:

c = velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)

λ =longitud de onda ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)

f =frecuencia (en Hertz)

En cuanto a la teoría cuántica, esta permite cuantificar la cantidad de energía transportada por un fotón siempre y cuando se conozca su frecuencia (f) o longitud de onda (λ). De hecho, es aquí donde queda en evidencia que ambas teorías resultan efectivamente complementarias, puesto que, la energía radiante presenta comportamientos que pueden explicarse de acuerdo con ambos planteamientos (Chuvieco, 2010).

Como unidades discretas de energía (Teoría Cuántica) la cantidad de energía se expresa a partir de la ecuación (2):

$$Q_i = h \cdot f \quad (2)$$

Donde:

Q_i = energía radiante (en julios)

h = constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} J \cdot s$)

f = frecuencia en Herzios.

Uniendo ambos principios se tiene:

$$Q_i = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3)$$

Se deduce de esta expresión que a medida que se trabaja con longitudes de onda mayores, sus contenidos energéticos serán menores y por tanto habrá más dificultades para la detección de estas radiaciones (Pérez Gutiérrez & Muñoz Nieto, 2006).

El Espectro Electromagnético

A partir de los anteriores planteamientos, se deduce que la energía se cuantifica en función de su longitud de onda (λ) o frecuencia (f) y de esta manera, es posible ordenar la energía emitida en función de su longitud de onda de composición similar (Arozarena et al, 2016). Estas longitudes de onda se agrupan en zonas denominadas bandas y representan lo que conocemos como espectro electromagnético.

El espectro electromagnético comprende desde las longitudes de onda cortas (rayos γ , X) hasta las de mayor longitud que se emplean en telecomunicaciones (Arozarena et al, 2016). Las unidades más comunes para expresar longitudes de onda cortas suelen emplearse en micrómetros, mientras que para las más largas se usan mm, cm o m.

El espectro electromagnético como ya se mencionó, está conformado por regiones que agrupan longitudes de onda de comportamiento similar. A continuación, en la figura (4) se muestra

la terminología más común y su conformación de acuerdo con la literatura del espectro electromagnético, Chuvieco (2010).

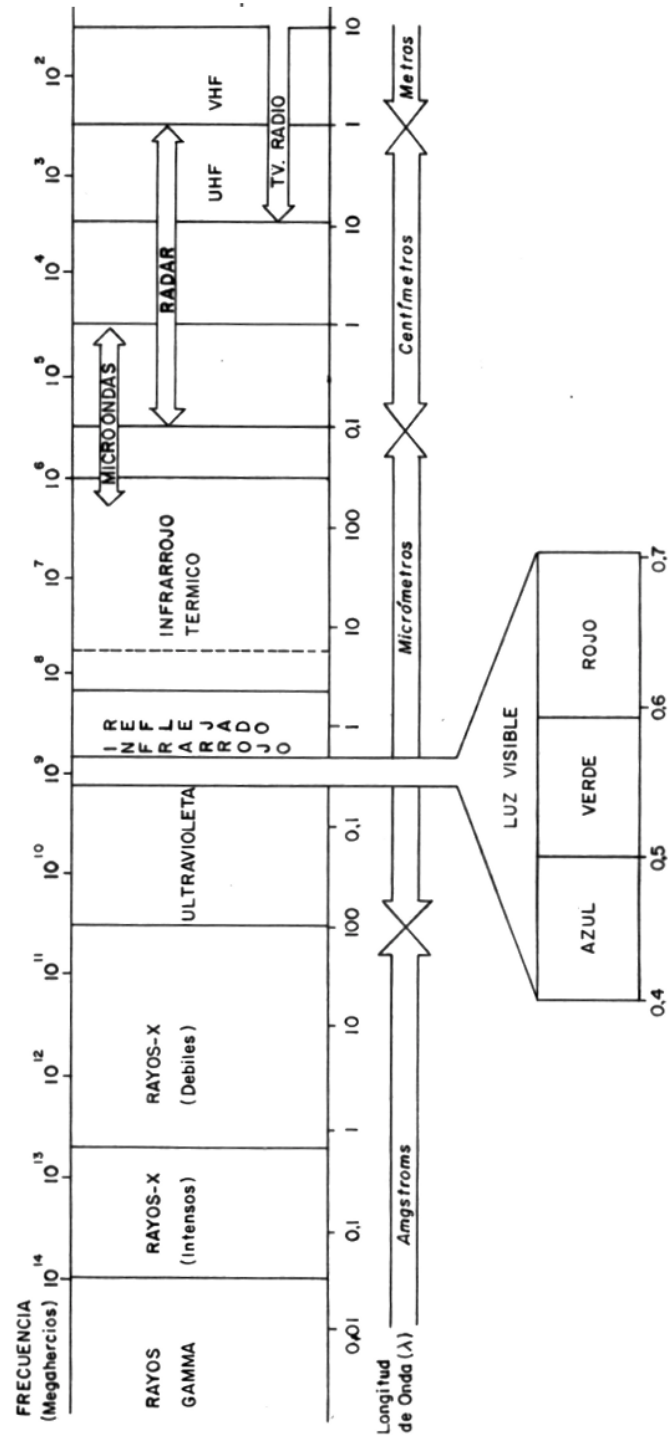


Figura 4 Espectro electromagnético. Chuvieco (2010).

- Espectro visible (0.4 a 0.7 μm)

Su nombre característico hace alusión a que, de todas las bandas presentes en el espectro electromagnético, es la única zona que puede percibir el ojo humano. Dentro de esta región se encuentran tres sub-bandas: el azul (A: 0.4 - 0.5 μm), verde (V: 0.5 – 0.6 μm) y rojo (R: 0.6 – 0.7 μm).

- Infrarrojo cercano (IRC: 0.7 a 1.2 μm)

También denominado infrarrojo próximo es de suma importancia para detectar masas vegetales y concentración de humedad.

- Infrarrojo medio (SWIR: 1.2 a 2.5 μm) y (IRM: 2.5 a 8 μm)

En el infrarrojo medio se encuentran dos sub-bandas; la primera, denominada infrarrojo de onda corta o SWIR, que es aplicable para estimar el contenido de humedad en la vegetación y suelos, por otro lado, el infrarrojo medio o IRM es determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).

- Infrarrojo lejano o térmico (IRT: 8 a 14 μm)

Es la zona donde se percibe la mayor parte del calor proveniente de las cubiertas terrestres.

- Microondas (M, por encima de 1 mm)

Por sus longitudes de onda larga es de gran interés por ser una energía bastante transparente a la cubierta nubosa, que no requiere de ventanas atmosféricas para detectar información terrestre.

Principios y Leyes de la Radiación Electromagnética

Términos y Unidades de Medida

Como ya se mencionó, para la observación remota de los cuerpos es necesario que exista un flujo energético proveniente de estos. Además de la energía radiante como la magnitud más común para cuantificar la intensidad de la energía, existen otras magnitudes que también resultan satisfactorias en el ámbito científico. A continuación, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 1 Magnitudes radiométricas comúnmente utilizadas en Teledetección

Concepto	Símbolo	Formula	Unidad
Energía radiante	Q	—	Julios (J)
Flujo radiante	ϕ	$\delta Q / dt$	Vatios (W)
Emitancia	M	$\delta \phi / \delta A$	$W m^{-2}$
Irradiancia	E	$\delta \phi / \delta A$	$W m^{-2}$
Intensidad radiante	I	$\delta \phi / \delta \Omega$	$W sr^{-1}$
Radiancia	L	$\delta \phi / \delta A \cos \theta$	$W m^{-2} sr^{-1}$
Radiancia espectral	L_λ	$\delta L / \delta \lambda$	$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$
Emisividad	ε	M / M_n	
Reflectividad	ρ	ϕ_r / ϕ_i	
Absortividad	α	ϕ_a / ϕ_i	
Transmisividad	τ	ϕ_t / ϕ_i	

sr : Estéreo-radián, medida del ángulo sólido.

μm : Micrómetro o micra (10^{-6} metros).

M_n : Emitancia de un cuerpo negro a la misma temperatura.

ϕ_i : Flujo incidente.

ϕ_r : Flujo reflejado.

ϕ_a : Flujo absorbido.

ϕ_t : Flujo transmitido.

θ : Ángulo formado por el flujo y la dirección normal.

Tomado de Chuvieco (2010).

De las magnitudes ilustradas anteriormente la que se ajusta más al ámbito de la observación remota por describir precisamente lo que mide el sensor, es la radiancia. La radiancia indica el total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo solido de medida, se cuantifica en vatios por metro cuadrado y estereorradián ($Wm^{-2}sr^{-1}$), (Pérez Gutiérrez & Muñoz Nieto, 2006).

Interacción de la Radiación con las Cubiertas Terrestres

Si se compara la radiación que llega a la atmósfera con la que se esperaría para un “cuerpo negro” a la temperatura del sol, queda claro que es más baja, esto se debe a que la Tierra capta solo una porción de la emitancia solar en función de su tamaño y la distancia (Markham y Barker, 1987). Sin dejar a un lado, que los gases en suspensión de la atmósfera actúan como filtro para la radiación electromagnética.

Como afirma Arozarena et al (2016), “La energía radiante (Q_{iT}), origen de la información, recibida por el sensor, se puede cuantificar mediante el concepto de flujo energético (F_i), que es la energía radiada (Q_i) en unidad de tiempo” p. 43.

$$F_i = \frac{\Delta Q_{iT}}{\Delta t} W \quad (4)$$

Puesto que la radiancia que finalmente detecta el sensor depende de la que reflejan las cubiertas, conviene explicar cómo interactúan las cubiertas con la radiación solar incidente

(Chuvieco, 2010). En este sentido, es preciso decir que el flujo incidente (ϕ_i) puede descomponerse en tres términos: flujo reflejado (ϕ_r), flujo absorbido (ϕ_a) y flujo transmitido (ϕ_t):

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t \quad (5)$$

Como conviene expresar esta fórmula en unidades relativas, se procede a dividir cada uno de los términos por el flujo incidente:

$$\frac{\phi_i}{\phi_i} = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} \quad (6)$$

Donde:

ϕ_i : energía incidente

ϕ_r : energía reflejada

ϕ_a : energía absorbida

ϕ_t : energía transmitida

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad (7)$$

La relación entre las tres magnitudes no es constante, sino que varía con la longitud de onda, conviene expresarla de acuerdo con la ecuación (8).

$$1 = \rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} \quad (8)$$

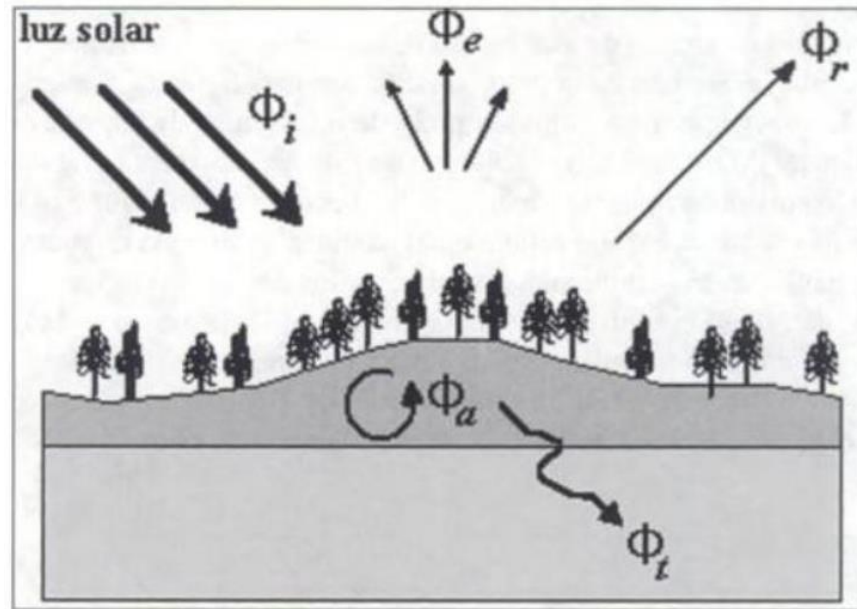


Figura 5 Descomposición del flujo solar incidente. (Sobrino, 2000)

Caracterización Espectral de las Diferentes Coberturas Terrestres

Comportamiento Espectral de la Vegetación

Caracterizar el comportamiento espectral de la vegetación es una de las tareas más interesantes y laboriosas en teledetección, como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radiancia que finalmente detecta el sensor. Dichos factores se pueden dividir en tres grupos (Belward, 1991; Colwell, 1974; Gausman, 1977; Guyot et al, 1989; Sellers, 1989, Jacquemoud, 1990): los relacionados con la reflectividad de la hoja, las características geométricas de la planta y los aspectos derivados de su ubicación geográfica.

Con respecto a la hoja se tiene tres factores que inciden en la reflectividad: la presencia de pigmentos (clorofilas, xantofila y caroteno), la estructura celular y el contenido de humedad, las características geométricas de la planta (área foliar, forma de las hojas, su distribución, geometría del dosel, entre otros).

La firma espectral de la vegetación puede variar en relación con el tipo de hoja, sin embargo, existen patrones generales donde se encuentran algunas zonas típicas de absorción de la energía influenciadas por la presencia de pigmentos y del aporte del agua. En cuanto a los pigmentos, las clorofilas, xantofila y caroteno tienen un efecto absorbente (65, 29 y 6%, aunque puede variar) que explican la baja reflectividad en la banda del espectro visible comprendida en torno a 0,4 y 0,6 μm (Gates et al., 1965). El color característico de la vegetación (verde), se debe a un pico de reflectividad presente en la banda del visible.

La alta reflectividad en el infrarrojo cercano (IRC) se debe a una menor influencia de los pigmentos en la absorción de la energía, y a la estructura celular interna de la hoja que permite dispersar la mayor parte de la radiación incidente (Chuvieco, 2010, p. 61-62). En el infrarrojo de onda corta (sub-banda del infrarrojo medio), el efecto absorbente del agua se manifiesta a partir de 1,4-1,9 y 2,8 μm (Arozarena et al, 2016).

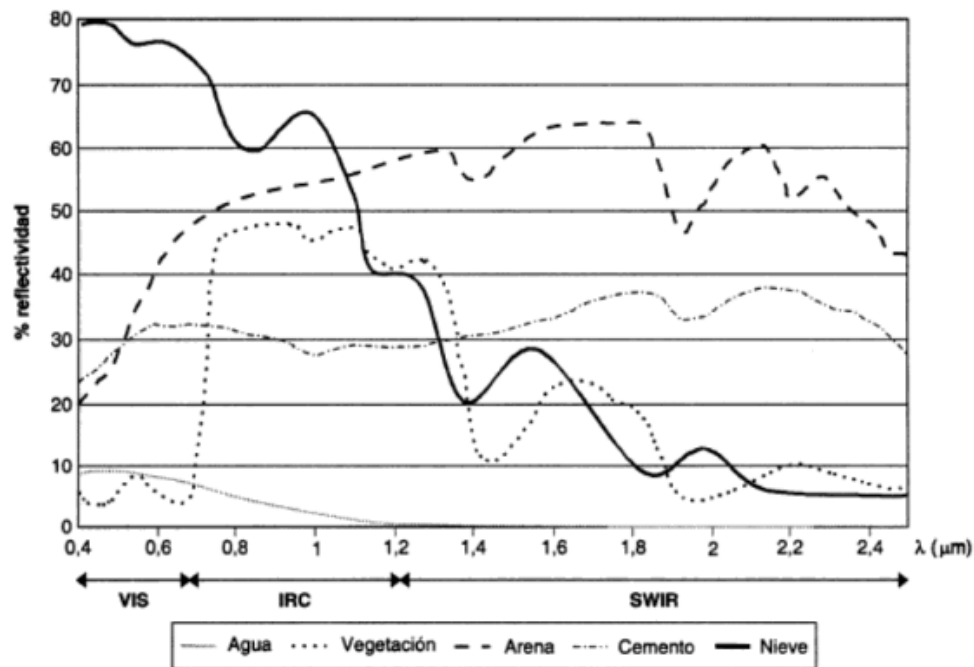


Figura 6 Signaturas espectrales típicas de diferentes cubiertas (datos del GER-2600). Chuvieco (2010).

En la zona de microondas la rugosidad es un elemento fundamental en la señal de retorno, siendo función de las condiciones morfogenéticas y de la orientación de la planta (Arozarena et al, 2016, p. 51).

Comportamiento Espectral del Suelo

Los suelos con cubierta vegetal impiden obtener información del sustrato geológico directamente. Sin embargo, en estas situaciones pueden obtenerse datos del suelo/litología a partir de las anomalías de la cubierta vegetal.

En lo que concierne a los suelos desnudos, su comportamiento espectral viene dado por una serie de factores, entre los cuales tenemos la composición química, textura, estructura y contenido de agua (Labrandero, 1978).

Así, por ejemplo, por composición química los suelos de origen calcáreo presentan un color cercano al blanco, que indica una alta reflectividad en todas las bandas del visible; de ahí su color. Por otro lado, los suelos arcillosos ofrecen una mayor reflectividad en el rojo, como consecuencia de su alto contenido de óxido de hierro (Curran et al, 1990). Respecto a las características físicas del suelo, puede definirse en términos generales, que la reflectividad resulta tanto mayor cuando se trate de suelos más finos y apelmazados (Lusch, 1989). En general, los suelos con contenido de materia orgánica ofrecen una reflectividad más baja, como consecuencia de una mayor absorción. En cuanto a los suelos con contenido de humedad, la absorción del agua en las bandas del visible e infrarrojo cercano influye inversamente en la reflectividad y más aún, en las bandas de absorción del agua (1,4 y 1,9 μm).

En la zona del infrarrojo térmico (IRT), la inercia térmica y conductividad son elementos fundamentales del comportamiento espectral del suelo, a causa de que son parámetros del comportamiento térmico de un objeto. En tal medida, queda claro que, suelos con elementos que aporten una mayor influencia de estos parámetros permitirán detectar con mayor facilidad suelos encharcados y cuerpos de agua.

En la zona de microondas se puede decir que el agua tiene un poder de retorno bajo, por lo que la imagen aparecerá oscura (Arozarena et al, 2016, p. 51).

Comportamiento Espectral del Agua

La absorptividad y transmisividad están presente en todo el espectro del agua, siendo mayor la absorción cuanto mayor sea la longitud de onda. Así que los niveles más altos de reflectividad se encuentran en la banda del espectro visible, siendo más específico, en la banda del azul. Esta reflectividad va reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo cercano y SWIR, donde ya es prácticamente nula por el efecto de mayor absorción (Chuvieco, 2010, pág. 65). La presencia de materiales en suspensión en el agua implica un aumento de la reflectividad en todas las bandas del visible, debido al aporte de estos materiales en la reflectividad (Bhargava y Mariam, 1990). Así pues, el efecto es más evidente en la desembocadura de los grandes ríos como se puede observar en la figura (7).

El fondo contribuye en la reflectividad del agua, siendo mayor el aporte en reflectividad en aguas poco profundas que en aguas profundas, cuya absorción será mucho mayor cuanto más profunda sea la capa de agua. Esta variabilidad en la profundidad de las superficies acuáticas es más evidente en las bandas del visible azul y verde. En cuanto a, aguas con contenido de clorofila, la reflectividad en el azul tiende a descender, aumentando en el verde. Esto permite, en ultimas, determinar concentraciones de algas (Robinson, 1985).

En el dominio de la zona de microondas la capacidad de retorno es baja, lo que supone imágenes oscuras en esa parte del espectro electromagnético (Arozarena et al, 2016, p. 51).



Figura 7 Desembocadura del río Magdalena en el Mar Caribe, Bocas de Ceniza (Barranquilla). Imagen Landsat 8 con los instrumentos OLI/TIRS. USGS (2020).

Sensores y Satélites Espaciales

Sensor

Los sensores son transportados por plataformas dispuestas en órbita mediante diversas lanzaderas espaciales (Ariane, Géminis, Apolo, Europa, etc). Las plataformas incorporan no solo los sensores, sino también todos los instrumentos necesarios en las misiones, tales como: sistemas de posicionamiento espacial, sistemas inerciales para la medida de ángulos del eje del sensor en el espacio, sistemas de comunicación, entre otros (Arozarena et al, 2016, pág. 52).

El sensor se define como un instrumento que tiene por finalidad captar, registrar y almacenar información territorial en forma de energía radiante (Arozarena et al, 2016, pág. 51). De ahí que, el procedimiento de captación de esta energía sea la forma más habitual de

clasificarlos. En este sentido, se habla de dos tipos de sensores: sensor pasivo, la energía que se capta y registra corresponde a la emitida por el sol que luego es reflejada por los objetos y sensor activo, es aquel en el que la energía que se capta y registra proviene de la emitida por el mismo sensor (Arozarena et al, 2016).

Tipos de Sensores

Sensores Activos Formadores de Imágenes.

Trabajan normalmente en la zona de microondas (longitudes de onda > 1 mm) y utilizan tecnología radar. Son sensores que no se limitan a observaciones a través de “ventanas atmosféricas” como sucede en el caso del espectro visible (Arozarena et al, 2016).

Sensores Pasivos Formadores de Imágenes.

Capturan y registran la energía proveniente del sol que a su vez es reflejada por los objetos, se registra desde 0,4 micrómetros (VIS) hasta 15 micrómetros (TIR), para que el registro se haga adecuadamente debe hacerse en las zonas donde haya en lo posible menor atenuación (ventanas atmosféricas) de energía radiante (Arozarena et al, 2016).

Estos sensores ofrecen el mayor número de imágenes con diversas resoluciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal. Dentro del grupo de sensores pasivos formadores de imágenes se encuentran los radiómetros de barrido y de empuje, estos son barredores multiespectrales que capturan y registran la energía radiante en variadas partes del espectro electromagnético, constan de un espectrómetro que tiene por objeto separar la energía de acuerdo con la longitud de onda y un “convertidor” de la señal analógica (señal eléctrica) en digital (imagen binaria).

Resolución de un Sistema Sensor

Según lo afirma Sobrino (2000), “La resolución de un sistema sensor se define como la habilidad de discriminar información de detalle y viene condicionada por el efecto combinado de sus distintos componentes” (p. 42). La resolución de un sistema sensor contempla varios aspectos, de los cuales, los más habituales en la literatura son: el espacial, espectral, radiométrico y temporal.

Resolución Espacial

En los sensores óptico-electrónicos, la resolución espacial está relacionada por el campo de visión instantánea (IFOV), este se define como la sección angular, medida en radianes de una superficie observada. El IFOV proyectado en el terreno corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, esto es, el tamaño del píxel (Sobrino, 2000). Esta es la medida por defecto de la resolución espacial. Por esta razón, cuanto menor sea el tamaño del píxel menor será la probabilidad de que éste sea un compuesto de dos o más cubiertas (Chuvieco, 2010).

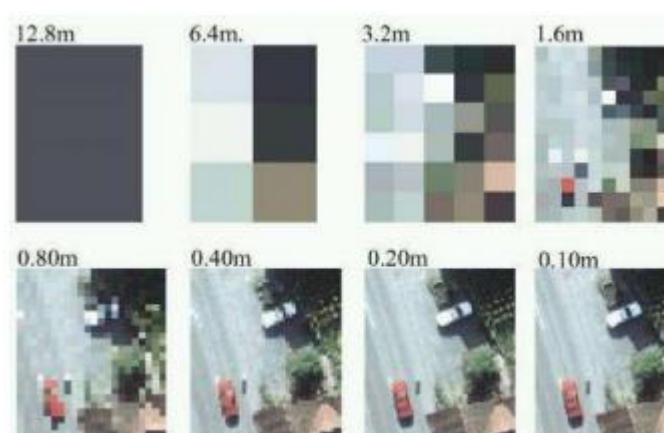


Figura 8 Comparación de resolución espacial.

Resolución Espectral

La resolución espectral de un sensor viene dada por el número y anchura de las bandas que puede discriminar el sensor. Es tan importante como la resolución espacial porque permite caracterizar espectralmente las cubiertas de interés, y así abordar diferentes estudios de recursos naturales. La información que el sensor registra es una manifestación del comportamiento de una cubierta en diferentes longitudes de onda, lo que resulta muy útil a la hora de establecer distinciones (discriminar) entre cubiertas muy similares bajo la óptica del sensor - por ejemplo - distinguir la vegetación de otras coberturas.

Resolución Radiométrica

La resolución radiométrica hace referencia a la capacidad del sensor de identificar variaciones en la radiancia espectral que recibe. La resolución radiométrica de las primeras cámaras fotográficas viene dada por el número de niveles de gris que aparecen en la fotografía, mientras que, los equipos digitales codifican una imagen en formato binario (niveles digitales). El número de niveles digitales oscila entre 64 (6 bits), 128 (7 bits), 256 (8 bits), 1024 (10 bits), 2048 (11 bits), 4096 (12 bits) y 65536 (16 bits) ND. Como es evidente los niveles digitales son función del número de bits de determinado sensor y esto puede observarse en la ecuación (9):



Figura 9 Comparación de resolución radiométrica.

$$ND = 2^{Nb} \quad (9)$$

Donde

ND: niveles digitales

Nb: número de bits

Resolución Temporal

Este concepto se refiere a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor y a la periodicidad con la que adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre (Sobrino, 2000). El ciclo de cobertura depende de las características orbitales de la plataforma y, esta a su vez, depende de los objetivos de los distintos sensores que componen la plataforma y definen sus aplicaciones.

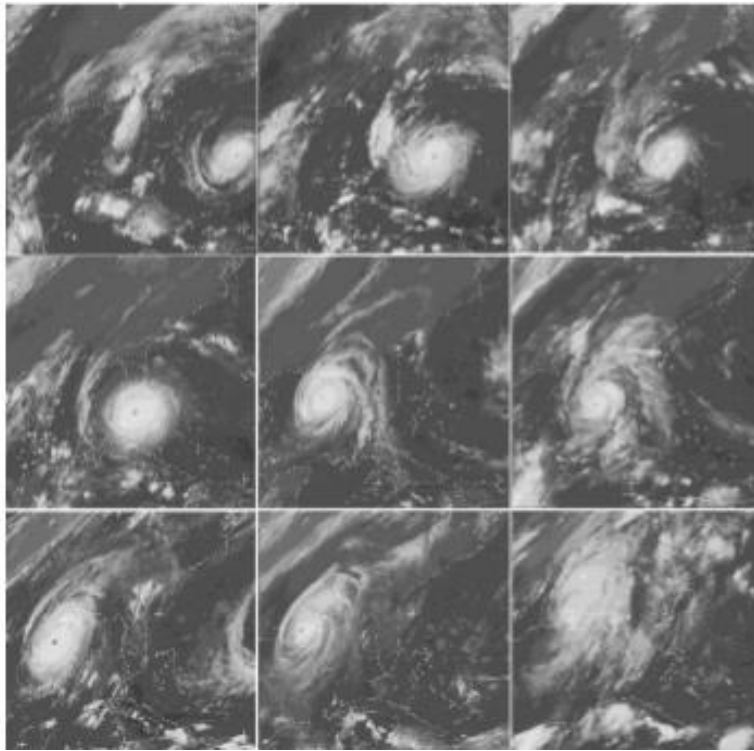


Figura 10 Imágenes del Meteosat sobre el huracán Andrew (cortesía ESA)

Plataformas de Teledetección Espacial

En la actualidad existen variedad de sistemas de observación terrestre puestos en marcha por diversas agencias espaciales, cada una de estas entidades posee programas espaciales enmarcados en unos objetivos y políticas de distribución de datos. Entre los sistemas de observación terrestre destaca el EOS (Earth Observing System) llevado a cabo por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), en el cual está incluido el sensor MODIS, a bordo de dos plataformas espaciales: el Terra (lanzado el 18 diciembre de 1999) y Aqua (lanzado en mayo de 2002).

Además del MODIS cada plataforma cuenta con otros instrumentos para la observación terrestre (CERES, MISR, MOPITT, ASTER, AMSR-E, entre otros), que son financiados por diferentes patrocinadores debido a su alto costo.

Sistema de Observación de la Tierra (EOS)

El sistema de observación de la tierra (EOS) es el proyecto más ambicioso de la NASA y se considera un componente importante de la división de ciencias de la dirección de misión científica de la NASA. Este sistema incluye otras plataformas además del Terra y Aqua que forman una serie coordinada de satélites distribuidos en forma de constelaciones (NASA, 2019).

Toda esta red de satélites dispuestos en orbitas próximas, permiten recoger información complementaria de algunas variables para mejorar la medición de procesos terrestres y atmosféricos, además de seguir la evolución diaria de su dinámica (Parkinson et al, 2006). Es decir, que los sistemas terrestres (aire, tierra y agua) pueden ser estudiados en su dinámica espacial y temporal, y así determinar cómo nos afectan los procesos naturales y nosotros a ellos.

El Terra y Aqua son las plataformas más destacadas del EOS y en su interior se encuentra el sensor MODIS, en consecuencia, nos centraremos en estas dos plataformas espaciales que incorporan diversos sensores que se complementan para estudiar fenómenos de gran interés medio ambiental.

Terra y Aqua

El Terra es uno de los satélites que conforma el proyecto EOS, fue lanzado al espacio el 18 de diciembre de 1999, se ubica a una altitud de 705 Km con una inclinación de 98,1°, cumple una órbita helio sincrónica cuasi polar que hace que cruce el Ecuador en torno a las 10:30 y 22:30 horas. Los principales objetivos científicos de esta misión se centran en proporcionar información de procesos globales sobre la distribución de aerosoles, nubosidad, temperatura terrestre y marina, entre otros (Chuvieco, 2010, p. 145). Los cinco sensores a bordo del Terra son: ASTER (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), CERES (Clouds and earth's Radiant Energy System), MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer), MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) y MOPITT (Measurements of pollution in the Troposphere) (NASA, 2020).

El Aqua fue lanzado el 4 de mayo de 2002, se ubica a una altitud de 708 Km con una inclinación de 98,2°, también cumple una órbita helio sincrónica cuasi polar, es llamado así por la gran cantidad de información que la misión recopila sobre el ciclo del agua de la Tierra, incluye información referente a la evaporación de los océanos, el vapor de agua en la atmósfera, las nubes, la precipitación, la humedad del suelo, hielo marino y terrestre (NASA, 2020). Los sensores que transporta la plataforma Aqua son: AIRS (The Atmospheric Infrared Sounder), AMSU (Advances Microwave Sounding Unit), CERES, MODIS, AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) y HSB (Hartford Steam Boiler), (NASA, 2019).

El Terra y el Aqua tienen algunos sensores en común, sin embargo, sus diferencias radican en que el Terra es más pesado y está orientado a aplicaciones terrestres, en contraste, al sensor Aqua que está más orientado a aplicaciones oceanográficas.

Sensor MODIS

El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un radiómetro de barrido compuesto por un espejo oscilante perpendicular a la trayectoria, con un ángulo de 55° que permite explorar a ambos lados de la traza del satélite. Es el primero de su clase en ser lanzado, cuenta con resolución espacial moderada, espectral, radiométrica y temporal.

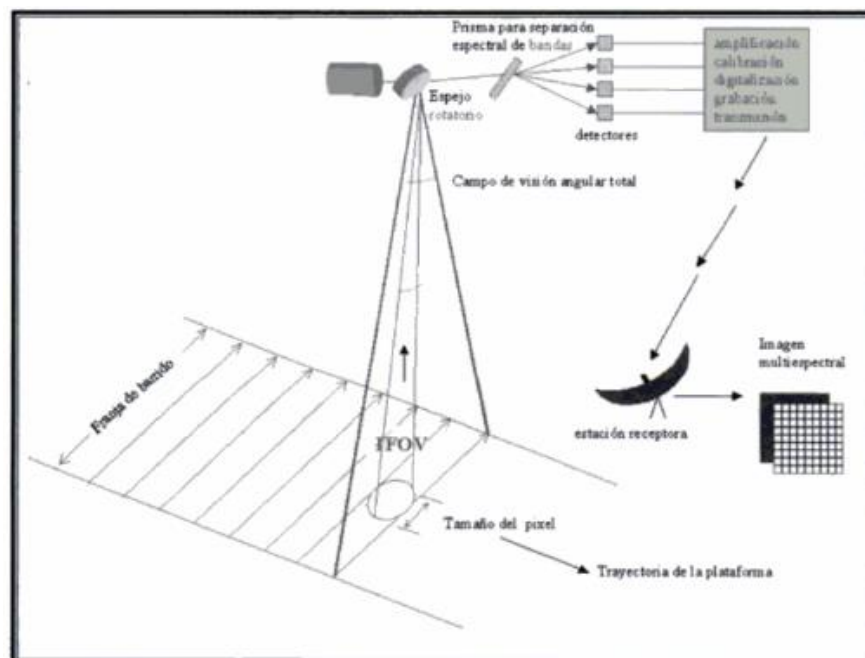


Figura 11 Funcionamiento de un radiómetro de barrido. (Sobrino, 2000).

La resolución espacial del sensor MODIS como se mencionó viene relacionada con el IFOV, en cuyo caso es de 2330 Km y el ángulo es de 110° ; esta resolución varía de los 250 a 1000 m en las diferentes bandas que conforman el sensor. Los niveles digitales del sensor MODIS corresponden a 4096 (12 bits), más que suficiente para asegurar una buena visualización.

Las características orbitales determinan la resolución temporal del sensor, el sensor MODIS, por su parte, monitorea la totalidad de la superficie terrestre cada 1 o 2 días, lo que supone

una alta resolución de este tipo. Lógicamente, esto contrasta con los fines de diseño del sensor MODIS (meteorológico y recursos naturales). En cuanto a, su capacidad espectral cuenta con 36 canales a distintos ámbitos espectrales que van desde $0,4 \mu m$ a $14 \mu m$ de longitud de onda. Las bandas de la 1 a la 7 son útiles para las aplicaciones terrestres; las bandas 8 a la 16 para observaciones oceánicas y las bandas 17 a la 19 para mediciones atmosféricas. Las bandas 20 a la 36 cubren la porción del infrarrojo térmico del espectro (3660-14385 nm), (NASA, 2008). A continuación, en la tabla (2) se describen algunos datos técnicos y aplicaciones con mayor detalle:

Tabla 2 Especificaciones generales del sensor MODIS

Órbita	Altitud: 708 km (Terra) y 705 km (Aqua), pasando en el ecuador a 10:30 a.m. nodo ascendente, helio sincrónica, casi polar, circular.
Tasa de escaneo	20.3 rpm, ortogonal a la órbita.
Dimensiones de la franja escaneada	2330 km (ortogonal) por 10 km (a lo largo de la órbita, al nadir)
Telescopio	17.78 cm de diámetro con planos de desvío intermediarios
Tamaño	1.0 x 1.6 x 1.0 m
Peso	228.7 Kg
Poder	162.5 W (promedio orbital)
Tasa de transferencia de datos	10.6 Mbps (pico); 6.1 Mbps (promedio orbital)
Codificación	12 bits
Resolución espacial	250m (bandas 1-2) 500m (bandas 3-7) 1000 m (bandas 8-36)
Vida útil	Tanto la vida útil del instrumento como de los satélites (Aqua y Terra) que lo sustentan se estimaban de 6 años, hoy en día han superado con creces ese objetivo (Aabouch, 2018), ya que cuando el continuo análisis del sistema plataforma/sensor demuestra que aún está en capacidad de seguir en órbita y si aún está en condiciones de seguir simplemente lo dejan.

Tomado de François (2011).

Productos del MODIS

Los productos MODIS están orientados a estudios terrestres, oceánicos, atmosféricos y criosféricos, son transmitidos en tierra a estaciones ubicadas en White Sands, Nuevo México. Para luego ser enviados al sistema de operaciones del EOS (Data and Operations System) al centro espacial Goddard, donde son depurados y tratados bajo diferentes niveles de procesamiento que van desde el 0 hasta el 4, (Nivel 0, Nivel L1, Nivel 1B, Nivel L2G, Nivel L2, Nivel 3 y Nivel 4). Los niveles 0, 1 y 2 se presentan en “granulos” que corresponden a datos sin proyectar tomados durante el paso del sensor durante 5 minutos y los niveles 2G, 3 y 4 son distribuidos en mosaicos en proyección sinusoidal denominados tiles (François, 2011).

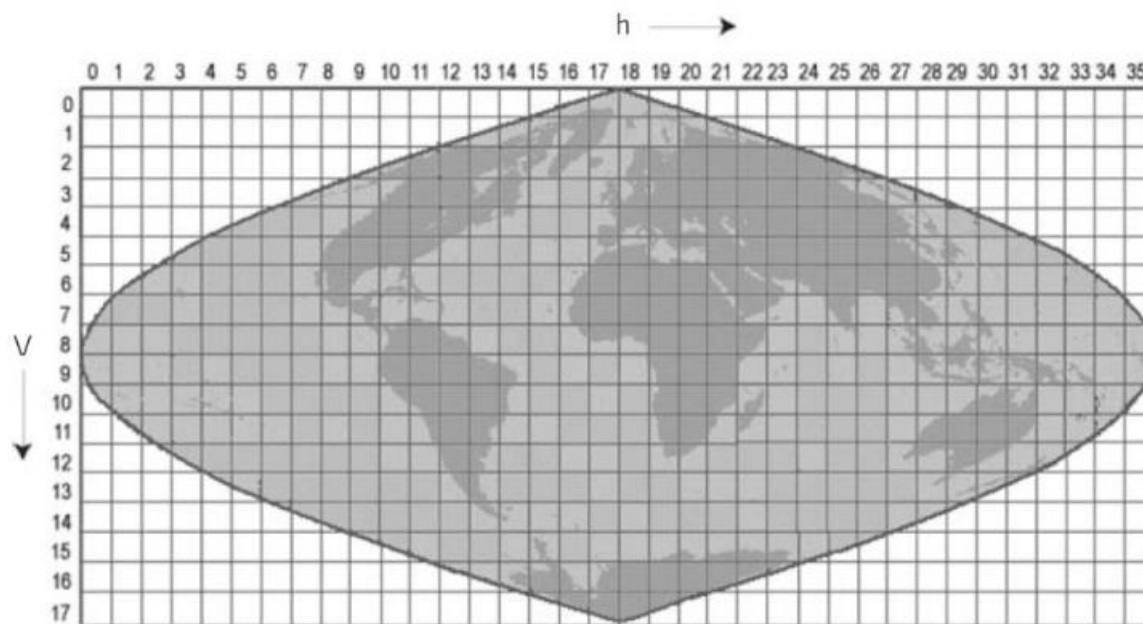


Figura 12 Organización de los productos Modland en tiles. Tomado de François (2011).

La nomenclatura de los productos corresponde a un formato que identifica sus aspectos más relevantes, tales como: fecha de adquisición, versión y localización, como se muestra a continuación:

Gránulo
 NOM.Aaaaaddh.hhmm.vvv.aaaaddhhss.hdf

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

MOD14.A2007364.1805.005.2009047020343.HDF

Tile
 NOM.Aaaaaddh.hxxxvyyy.vvv.aaaaddhhmm.hdf

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

MOD09GA.A2002006.h08v07.005.2008182172646.hdf
 MOD09CGM.A2007364.005.2008001133501.hdf

La primera parte del nombre largo del producto es su nombre corto. Las tres primeras letras hacen referencias a la plataforma: MOD para Terra, MYD para Aqua y MCD para datos combinados Terra/Aqua. El número se refiere al tipo de producto CMG indica el producto global “Climate Modeling Grid”.

Después de la letra A aparece la fecha de adquisición (año y día juliano en los cuatro primeros y tres últimos dígitos respectivamente). Por ejemplo, A2007364 indica el año 2007, día juliano 364 (29 de diciembre).

En los productos en gránulos (nivel 2) sigue la hora (hora, minutos) del inicio de la colecta de datos.

En los productos organizados en tiles aparece las coordenadas h, v del tile. Por ejemplo, h08v07 indica la retícula 08 es el horizontal y 07 en la vertical. Este campo no existe para los productos CMG.

Finalmente aparece la fecha de procesamiento (año, día juliano, hora, minuto y segundo): 2008182172646 indica: Año 2008, día juliano 182 (30 de junio), horario 17 horas y 46 seg.

Los productos MODIS se encuentran disponibles a través de diversos portales de Internet de forma gratuita, para su descarga requieren un registro previo que asegure el cumplimiento de las políticas de manejo y distribución de datos. El formato de descarga viene en HDF (Hierarchical Data Format), desarrollado por el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercomputación (NCSA), cumpliendo la función de almacenar datos como cualquier otro formato en colecciones.

Tabla 3 Especificaciones de las bandas espectrales

Uso principal	Banda	Ancho de banda	Radiancia espectral	SNR o NE (delta) T requerido T (K)
Límites de Tierra/Nubes/aerosoles	1	620-670	21.8	128
	2	841-876	24.7	201
Propiedades de Tierra/Nubes/aerosoles	3	459-479	35.3	243
	4	545-565	29.0	228
	5	1230-1250	5.4	74
	6	1628-1652	7.3	275
	7	2105-2155	1.0	110
Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica	8		44.9	880
	9	438-448	41.9	838
	10	483-493	32.1	802
	11	526-536	27.9	754
	12	546-556	21.0	750
	13	662-672	9.5	910
	14	673-683	8.7	1087

	15	743-753	10.2	586
	16	862-877	6.2	516
Vapor de agua atmosférico	17	890-920	10.0	167
	18	931-941	3.6	57
	19	915-965	15.0	250
Temperatura de la superficie/nubes	20	3.660-3.840	0.45 (300K)	0.05*
Temperatura atmosférica	21	3.929 – 3.989	2.38 (335K)	2.00*
	22	3.929 – 3.989	0.67 (300K)	0.07*
	23	4.020 – 4.080	0.79 (300K)	0.07*
	24	4.433 – 4.498	0.17 (250K)	0.25*
Vapor de agua de nubes Cirrus	25	4.482 – 4.549	0.59 (275K)	0.25*
	26	1.360 – 1.390	6.00	150
Propiedades de las nubes	27	6.535 – 6.895	1.16 (240K)	0.25*
	28	7.175 – 7.475	2.18 (250K)	0.25*
	29	8.400 – 8.700	9.58 (300K)	0.05*
Ozono	30	9.580 – 9.880	3.69 (250K)	0.25*
Temperatura de la superficie/nubes	31	10.780 – 11.280	9.55 (300K)	0.05*
	32	11.770 – 12.270	8.94 (300K)	0.05*
Altitud de las nubes	33	13.185 – 13.485	4.52 (260K)	0.25*
	34	13.485 – 13.785	3.76 (250K)	0.25*
	35	13.785 – 14.085	3.11 (240K)	0.25*
	36	14.085 – 14.385	2.08 (220K)	0.35*

1. Bandas de la 1 a la 19 están en nm; Bandas de la 20 a la 36 en micrómetros

3. SNR = radio de señal-ruido.

4. NE (delta) T requerido = Diferencia de temperatura equivalente al ruido (*)

2. Los valores de la radiancia espectral están en W/m²/micrómetros/sr

Tomado de Maso (2011).

Ventajas y Limitaciones del Sensor Remoto MODIS

A continuación, se muestra la tabla (4) donde se exponen algunas ventajas y limitaciones del sensor MODIS encontradas durante el repaso de la literatura:

Tabla 4 Ventajas y limitaciones del sensor remoto MODIS.

Ventajas	Limitaciones
Capacidad hiper espectral permite discriminar con mayor detalle las cubiertas de interés.	La resolución espacial es moderada, lo cual limita su uso a algunas escalas de trabajo.
Alta resolución temporal que permite adquirir imágenes casi diarias del área de interés cada 1 o 2 días (NASA, 2019).	Para la elaboración de la cartografía temática la escala de trabajo depende de la mínima unidad cartografiable (MUC). De acuerdo a, la asociación cartográfica internacional las escalas límite más idóneas para el MODIS son: 1:500.000 y 1:1.000.000 (Chuvieco, 2010).
Disponibilidad de productos libremente y de forma gratuita a través de plataformas web.	La calidad de los productos está condicionada a la presencia de nubosidad y a gases en suspensión.
Adquisición de imágenes a bajo costo para el usuario final, comparado con otros métodos de adquisición de información geográfica.	La diferencia del ángulo de observación en los compuestos de 8 días genera que “píxeles adyacentes” presenten diferencias radiométricas lo que conlleva a dificultar la clasificación de las cubiertas (François, 2011).
Numerosos productos de diferentes tipos de procesamiento, asociados a datos atmosféricos, terrestres, de la criósfera y oceanográficos.	
Cobertura global y alta resolución radiométrica.	
El formato HDF del MODIS es un formato flexible e independiente que mantiene una estructura lógica y organizada de la información almacenada.	
Aplicación de series de tiempo a estudios de cubiertas de interés, ya sea durante épocas extensas o en tiempos parciales.	
Combinación de datos MODIS puede aumentar la fiabilidad de los productos (François, 2011).	

Elaboración propia

Determinación del Evento de Desastre con Mayor Frecuencia en el Departamento del Tolima.

Amenazas

“Colombia es un país que presenta diversas características físico-geográficas que exponen el territorio en diversos grados de impacto a eventos de condición geológica, geomorfológica e hidrológica” (IGAC, 2018).

Existen cuatro tipos de amenazas según el origen: amenazas de origen natural, de origen socio natural, de origen antrópico y amenazas concatenadas o complejas (Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo- CNCRD, 2017). Todas estas amenazas guardan cierta correlación, aludida a la capacidad de contribuir una con la otra. Por ejemplo, los factores antrópicos inciden en la magnitud de un evento que en primera instancia tiene un origen natural; contribuyendo en cierta forma en la detonación de la amenaza natural.

Según la UNGRD (2018), en el documento *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia* los eventos de mayor incidencia en el territorio colombiano son las inundaciones, los movimientos en masa, incendios forestales, las sequías y avenidas torrenciales (p.3). Como resultado, son eventos que se abordarán para determinar ¿cuál es el evento de mayor incidencia en el territorio Tolimense?, que, a su vez merezca ser seleccionado para ser abordado en base a fuentes de información geográfica (teledetección) a través de sensores como el MODIS.

Inundaciones

Se pueden producir principalmente bajo dos circunstancias, por precipitaciones de alta duración y poca intensidad o por precipitaciones de baja duración y alta intensidad que generan un aumento del nivel de las aguas, por tanto, las alturas naturales del cauce son superadas provocando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las zonas circundantes. “La magnitud de la inundación provocada por fenómenos hidrometeorológicos, depende de la intensidad de las precipitaciones, de su distribución en el tiempo y el espacio, del tamaño de las cuencas hidrológicas, de las características del suelo y el drenaje” (UNGRD, 2018).

Movimientos en Masa

De acuerdo con la terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes, un movimiento en masa es “Todo movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa son lentos, a veces imperceptibles y difusos; en tanto que otros pueden desarrollar velocidades altas (Hungr, Evans, Bovis , & Hutchinson, 2001). Los principales tipos de movimientos en masa comprenden caídas, deslizamientos, reptación, flujos y propagación lateral” (Comité Nacional para el conocimiento del Riesgo-CNCRD , 2017).

Incendios Forestales

De acuerdo con la terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes, un incendio de la cobertura vegetal es “Fuego sobre la cobertura de origen vegetal o antrópico que se propaga sin control, que causa perturbaciones ecológicas afectando o

destruyendo una extensión superior a 5000 m², ya sea en zona urbana o rural, que responde al tipo de vegetación, cantidad de combustible, oxígeno, condiciones meteorológicas, topografía, actividades humanas, entre otros” (Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo-CNCRD, 2017).

Sequías

Las sequías son originadas por un déficit de lluvias durante un periodo extendido de tiempo, que resulta en la escasez de agua para una actividad o sector (UNGRD, 2010). Este evento es poco evidente en sus inicios y su impacto varía de región en región, por lo que suele recurrirse a variables e índices que brinden un pronóstico, para luego, implementar las medidas que garanticen el abastecimiento del suministro de agua. Las sequías se pueden clasificar en: sequía estacional y sequía contingente, la primera se presenta siempre para la misma época del año, mientras que la contingente es inesperada. En Colombia, la intensidad de las lluvias se ven directamente influenciadas con la aparición del evento del Niño (ENOS), dado que, con su ocurrencia se presenta la mayor incidencia de este evento.

Avenidas Torrenciales

De acuerdo con la terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes, una avenida torrencial es “Un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor de 5%), que transcurre principalmente confinada a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada (Hungry, Evans, Boris, & Hutchinson, 2001). Es uno de los movimientos más peligrosos debido a sus características de

ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje” (Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo-CNCRD, 2017).

Caracterización del Área de Estudio

Generalidades

Del Clima y la Dinámica Atmosférica.

Para comprender con mayor claridad todos los aspectos que se describen a continuación, es necesario entender aquellos conceptos que engloban el clima y la dinámica atmosférica. Por un lado, se entiende por tiempo atmosférico al estado de la atmósfera en un tiempo dado. Por otro lado, el clima se define como el promedio del estado atmosférico en un lugar determinado durante un periodo extendido de tiempo. Ambos términos son fundamentales tanto en el ámbito de la meteorología como de la climatología, ya que, a partir de estos, es posible caracterizar el clima y determinar los patrones generales de su comportamiento, que permiten de una u otra forma al hombre establecerse con mayor seguridad en un lugar determinado.

Las condiciones físico-geográficas determinan el tiempo atmosférico y el clima sobre el territorio colombiano, tales como la altitud, la latitud, la orografía, las corrientes marinas, la continentalidad y la circulación atmosférica. Así pues, queda de manifiesto que la ubicación geográfica es un factor determinante en el estado atmosférico que a su vez configura el clima de la región.

Colombia se ubica entre los 4°34'15,1''N y 74°17'50,4''O en la zona tropical, está es una zona que recibe gran parte de la radiación proveniente del sol, en contraste, a zonas de latitudes medias, donde es más tenue la radiación que incide. Esta zona presenta bajas presiones en la parte

ecuatorial y altas presiones en los subtrópicos (IDEAM-UNAL, 2018), donde predomina la circulación de los vientos alisios que se desplazan de norte a sur o de sur a norte dependiendo de la época del año y que confluyen en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), configurando el clima en diferentes regiones de esta zona (IDEAM-UNAL, 2018).

Además de la influencia de la ZCIT, espacialmente la hidro-climatología es muy variable debido a la presencia, entre otros, de la cuenca Amazónica, la orografía y las características locales (la altitud, la continentalidad y la cercanía a ríos y lagunas) de cada región que conforma el territorio colombiano (UNGRD, 2018). Además, diversos estudios e investigaciones revelan que los fenómenos macro climáticos traen consigo una fuerte variación de la estructura “normal” del sistema hidroclimático del país (Pabón & Dorado, 2008). La oscilación del sur (ENOS), se manifiesta en dos fases: la fase cálida del ENOS, la cual genera afectaciones en la calidad de vida por falta del recurso hídrico que abastece a la población, y la fase fría del ENOS, cuando se producen inundaciones, daños en obras de captación, pérdida de cultivos y en general muchos daños materiales, lo que también genera un descenso en la calidad de vida de la población (UNGRD, 2018).

De los Movimientos en Masa y los Terrenos Geológicos.

En la literatura existen diversas clasificaciones de movimientos en masa, entre estas clasificaciones destacan las de autores como (Sharpe 1938, Cruzen & Varnes 1996, Hutchinson 1988, Hungr et al 2001), que consideran cinco tipos de movimientos en masa como los más comunes en el territorio colombiano: caídas, rodamientos y bloques erodados, volcamientos, deslizamientos, flujos y reptación. Además, de dos tipos de movimientos que ocurren en el medio

pero que no se han inventariado con certeza: las deformaciones profundas del tipo *sagging* o *sackung* y la propagación lateral (Montero Olarte , 2017).

“Las caídas ocurren cuando hay desprendimientos de bloques de material (suelo y roca) en laderas de roca dura y relieve agreste, expuestas a meteorización y erosión o socavación, o algún tipo de excavación. Por lo general las antecede un agrietamiento de tensión en la parte superior con ayuda de la lluvia como factor detonante y pequeños deslizamientos previos. Los dos escenarios posibles que se producen eventualmente es la acumulación de los bloques de material al pie de las laderas, mezclados con detritos y tierra. Y la fragmentación de estos bloques, que luego rebotan ladera abajo” (Montero Olarte , 2017).

Los volcamientos de bloques de roca o de detritos son accionados por la fuerza de gravedad y algunas veces por la contribución de factores detonantes como la lluvia o el hielo y deshielo, que actúan como cuña en las zonas de agrietamiento de masas rocosas o de suelo. Los deslizamientos más comunes en toda la extensión de la región Andina son: rotacional, traslacional y compuesto. Sus causas más comunes se agrupan en dos: cuando se incrementan los esfuerzos o cuando se reduce la resistencia de los materiales involucrados de tal manera que se supere el umbral de falla (Montero Olarte , 2017). Los flujos son deslizamientos que comprenden movimientos viscosos, por lo general, ocurren a partir de deslizamientos en la parte superior de las laderas.

La reptación o movimientos de tipo Creep son generados por la escasa consolidación del suelo en la parte superior del perfil, los cambios en el suelo, la deforestación y plantación de cultivos limpios, y en general con usos y manejos del suelo que producen un alto contenido de agua (Montero Olarte , 2017).

Departamento del Tolima

El departamento del Tolima está ubicado en el centro-oriente de Colombia, en la región Andina. Cuenta con una extensión de 23.562 Km^2 , está conformado por 47 municipios, 40 corregimientos, 164 caseríos, 60 inspecciones de policía, 50 centros poblados y limita al norte con el departamento de Caldas, al oriente con el departamento de Cundinamarca, al sur con los departamentos de Huila y Cauca, y al occidente con los departamentos de Valle del Cauca, Quindío y Risaralda.

En el contexto económico, el departamento del Tolima en el 2011 aportó al PIB nacional el 2,14 % y en el 2012, el 2,2 %. La actividad agrícola destaca con una gran presencia en el territorio, con gran variedad de productos con características permanentes y semipermanentes. El sector industrial se manifiesta igualmente importante con la presencia de microindustrias, que se localizan tanto en diferentes municipios como en la ciudad de Ibagué; estas microindustrias están constituidas por empresas de producción de cemento, licores, textiles y prendas de vestir, fábricas de productos alimenticios y bebidas, entre otros (IGAC, 2018).

Como es lógico, la agroindustria posee una gran influencia en el territorio, debido a las características productivas de la región que se manifiestan en la producción de cultivos con la ayuda de industria agrícola y de diferentes distritos de riego de grande, mediana y pequeña escala, asociados con los ríos Saldaña, Coello y Recio (IGAC, 2018).

Es un punto estratégico que comunica tanto el oriente como el occidente del país, lo que permite una dinámica económica que jalona el crecimiento y desarrollo del territorio. El sistema vial que comunica el departamento del Tolima es un sistema vial de primer orden, que conecta no solo Ibagué, sino a varios de los municipios tolimeses, con el resto del país y con la ciudad de

Bogotá. Así pues, el departamento del Tolima aún representa ser un nodo importante de comunicación Nacional, por vía terrestre y aérea (IGAC, 2018).

Población.

La población aproximada de la región para el año 2018, de acuerdo con la revisión de límites oficiales municipales dispuestos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de acuerdo a la actualización del 12 de noviembre de 2019 (DANE, 2019), es de 1.228.763 habitantes y la proyección para el 2020 es de 1.427.427 habitantes, siendo aproximadamente el 2,55 % del total de la población del país. Las ciudades más importantes del departamento se presentan en la Tabla (5).

Tabla 5 Total de municipios del departamento del Tolima

MUNICIPIO	FUNDACIÓN	ALTURA CABECERA A (m.s.n.m.)	TEMPERAT URA MEDIA ANUAL (°C)	POBLACI ÓN TOTAL 2005	ÁREA Km2	POBLACI ÓN PROYECT ADA 2020
Ibagué	14 oct 1550	1.286	23,9	498130	1.439	579.807
Alpujarra	7 abril 1768	1.306	20,2	5174	517	4.917
Alvarado	1540	418	28	8972	347	8.732
Ambalema	29 mar. 1656	238	28,7	7674	239	6.435
Anzoátegui	16 julio 1895	1.900	17,8	16422	475	19.492
Armero	1895	331	28,2	13064	451	11.377
Ataco	1778	450	26	21942	1.122	22.891
Cajamarca	1867	1.814	18,5	19789	520	19.580
Carmen de Apicalá	16 julio 1828	350	26,6	8394	202	9.000
Casabianca	1866	1.900	17,8	6909	123	6.550
Chaparral	3 julio 1773	853	24,2	46712	2.229	47.442
Coello	5 julio 1627	300	26,6	9017	349	10.120
Coyaima	1778	358	28,1	28056	667	28.481
Cunday	entre 1794-1796	460	24,6	10689	518	9.278
Dolores	17 enero 1700	1.450	21	9164	672	7.643
Espinal	1754	323	28	76237	231	75.692
Falan	1640	930	24,6	9277	188	9.180
Flandes	1912	290	28,5	27943	100	29.550
Fresno	1547	1.478	19,2	31317	232	29.663
Guamo	26 junio 1772	321	27,7	34781	523	31.089
Herveo	17 oct 1871	2.250	16,1	9142	343	7.594

Honda	24 agosto 1560	206	29,1	27310	310	23.590
Icononzo	1888	1.250	21,8	11649	220	10.500
Lérida	1690	345	27,6	19489	281	16.624
Líbano	3 marzo 1866	1.600	19,9	42269	291	39.459
Mariquita	29 oct 1549	496	26,3	32933	291	33.348
Melgar	1720	324	27,5	32774	209	37.523
Murillo	24 oct 1872	2.950	12,4	5075	443	4.974
Natagaima	1608	326	28	23212	862	22.255
Ortega	1572	400	26,8	33873	960	32.078
Palocabildo	1 enero. 1996	1.410	19,9	9609	65	9.008
Piedras	20 enero 1552	433	28	5427	361	5.725
Planadas	25 nov. 1966	1.224	22,2	29417	1.445	30.165
Prado	1781	320	28	8761	448	7.338
Purificación	25 mayo. 1664	310	26,1	27873	433	29.893
Rioblanco	1900	1.250	22,5	25636	1.136	24.039
Roncesvalles	1 julio. 1925	2.550	12,9	6269	790	6.373
Rovira	1570	875	24	21665	733	20.164
Saldaña	1917	311	28	14990	214	14.111
San Antonio	1825	1.447	21,2	15331	407	13.974
San Luis	1780	475	27	19262	425	19.105
Santa Isabel	12 sep. 1893	2.270	15,5	6565	271	6.273
Suárez	1827	275	25,4	4519	194	4.558
Valle de San Juan	1702	590	26,2	6178	198	6.443
Venadillo	4 dic. 1713	332	27,5	18769	358	19.872
Villahermosa	1875	2.000	16,8	11196	285	10.409
Villarrica	1125	1.125	18,9	6226	445	5.113

Tomado de DANE, proyección de población 2005–2020.

Vocación Económica y Nivel de Desarrollo

En el departamento del Tolima la producción agrícola tiene mayor participación que los demás subsectores (la agricultura, producción pecuaria, aprovechamiento minero-energético y la producción forestal) que conforman el sector primario o agropecuario. Debido, en parte, a la alta producción de arroz y café. En la producción agrícola existen dos tipos de cultivos básicos que conforman el área sembrada, los cuales se dividen en: cultivos transitorios, presentan un ciclo vegetativo de seis meses y son comunes en la economía campesina, entre ellos encontramos las verduras, los cereales, las hortalizas, etc. Y los cultivos permanentes, se caracterizan por presentar

un ciclo vegetativo largo, entre ellos encontramos los árboles frutales, el cacao, la palma de aceite, etc.

El arroz es uno de los mayores contribuyentes de los cultivos transitorios en el departamento del Tolima, en el año 2013 la producción agrícola fue del 58% en este tipo de cultivos. Por su parte, los cultivos permanentes tienen al café como mayor contribuyente. En cuanto a, la producción forestal los municipios que lideran este tipo de practica son Cajamarca, Herveo, Armero-Guayabal, Líbano, Chaparral, Fresno e Ibagué con una producción que oscila entre 3000 y 1000 metros cúbicos (IGAC, 2018). La producción pecuaria para la producción de carne y sus derivados presentan una mayor participación de los bovinos (88%), le siguen los porcinos (5%) y los equinos (4%), ovinos (1%), mular (1%), cunícola (1%) y una nula participación de los caprinos.

En el sector secundario, la industria y la agroindustria son el eje fundamental de su economía. Las actividades que presentaron dinámica en el sector fue la fabricación de maquinaria y la producción de minerales no metálicos, acompañadas de la fabricación de productos derivados del petróleo, químicos básicos y productos metálicos (IGAC, 2018). Cuando ocurrió la tragedia de Armero el gobierno Nacional como incentivo para la recuperación de la economía departamental otorgo industria textil, sin embargo, ante el acelerado cambio técnico y la competencia nacional e internacional se ha visto un decrecimiento. “La vocación agropecuaria se desarrolla a través de la adecuación de tierras mediante los distritos de riego de grande, mediana y pequeña escala” (IGAC, 2018).

En el sector terciario, hacen presencia el comercio y los servicios. Las actividades con mayor dinámica son el turismo en los municipios de Melgar, Carmen de Apicalá, Suárez, Purificación, Prado, Honda, Mariquita, Armero, Falan, Ambalema, Lérída, Venadillo y Espinal.

Condiciones Hidro climáticas

El sistema climático del departamento del Tolima como del país, está determinado por factores geográficos y físicos como la altitud, la latitud, la orografía, las corrientes marinas, la continentalidad y la circulación atmosférica (IGAC, 2018). Uno de los factores más influyentes en el territorio es la circulación de los vientos alisios provenientes del noroeste y sureste que confluyen en la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Esta zona configura los periodos secos y húmedos en el departamento del Tolima, presentado dos periodos húmedos que van de marzo - mayo y de octubre - noviembre, y dos periodos secos de diciembre - enero y julio – agosto.

Aquellos factores geográficos y físicos que se mencionaron anteriormente, determinan los principales elementos que componen el clima (precipitación, temperatura, humedad y brillo solar). En el territorio tolimense, los mayores niveles de precipitación se ubican al norte del municipio de Mariquita (3500 mm anuales), y los menores valores, hacia el sur del flanco occidental de la cordillera oriental de Alpujarra (500 mm anuales), (IGAC, 2018). La variación de la temperatura está relacionada con la altura sobre el nivel del mar, es decir, con el gradiente térmico que sirve de base para categorizar los pisos térmicos. En ese orden de ideas, la altitud del departamento varía desde los 190 m.s.n.m. hasta los 5300 m.s.n.m. y, la temperatura de los 1,5 – 24°C.

Condiciones Geológicas

Como el departamento del Tolima se ubica en la región Andina, muchos de los eventos que amenazan el territorio tienen su origen en las condiciones geológicas. Las geoformas de la región son el resultado de la interacción regional entre placas tectónicas de Suramérica, Nazca y Caribe, así como de las modificaciones recientes y locales generadas por los procesos morfodinámicos de construcción y destrucción (glaciaciones, vulcanismo, dinámica fluvial) bajo

diversas condiciones de clima (IGAC, 2018). Entre las unidades geomorfológicas presentes en el departamento del Tolima encontramos: la montaña, el lomerío, el piedemonte y el valle.

Los municipios más susceptibles ante amenazas por movimientos en masa son aquellos que se ubican en zonas de pendientes altas, suelos de alteración e inestabilidad geológica por fallamiento y movimientos tectónicos (IGAC, 2018). Las zonas montañosas del Tolima son escenarios predispuestos a la ocurrencia de deslizamientos, los flujos de tierra y flujos de escombros.

Análisis de Eventos Recurrentes

Metodología

A continuación, se hace un análisis para determinar ¿cuál de los eventos estudiados a partir del documento base *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia*, es el más recurrente en el departamento del Tolima? Para ello, se empleó como fuente principal: la base de datos de DESINVENTAR.

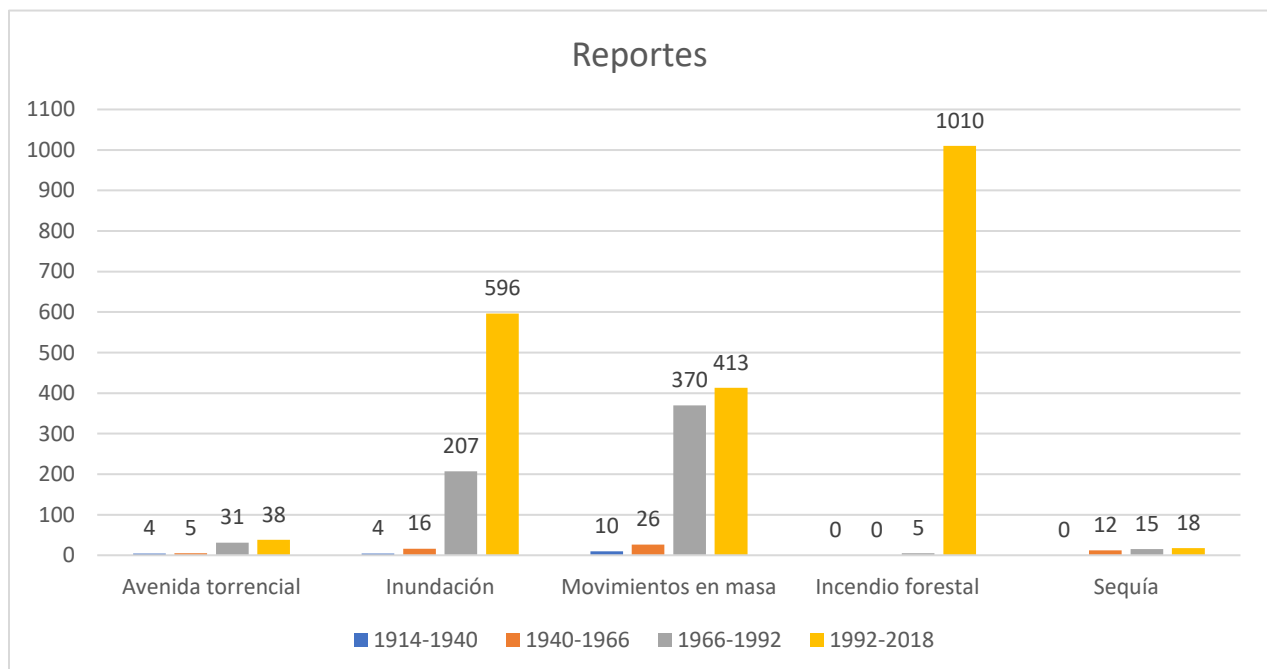
La base de datos de DESINVENTAR es una base de datos concebida por investigadores, académicos y actores institucionales agrupados en la red de estudios sociales en prevención de desastres en América latina (LA RED), que integra información referente a desastres de pequeño, mediano y gran impacto.

La base de datos de DESINVENTAR contiene información de los reportes realizados durante el periodo 1914-2018 por cada evento de desastre, el tratamiento estadístico realizado a estos eventos de desastre fue abordado con ayuda de la estadística descriptiva que hace uso tablas de frecuencia absoluta y relativa y, permite sea representada gráficamente, estas tablas integran

los reportes realizados por cada evento para cada clase que hace referencia a las cuatro ventanas de tiempo (26 años). A partir del respectivo análisis se realizaron 3 tipos de gráfico que indican: el número de reportes realizados por cada evento para las cuatro ventanas de tiempo (26 años); la frecuencia relativa de cada evento representada en un diagrama de tortas y el análisis específico de cada evento para las cuatro ventanas de tiempo.

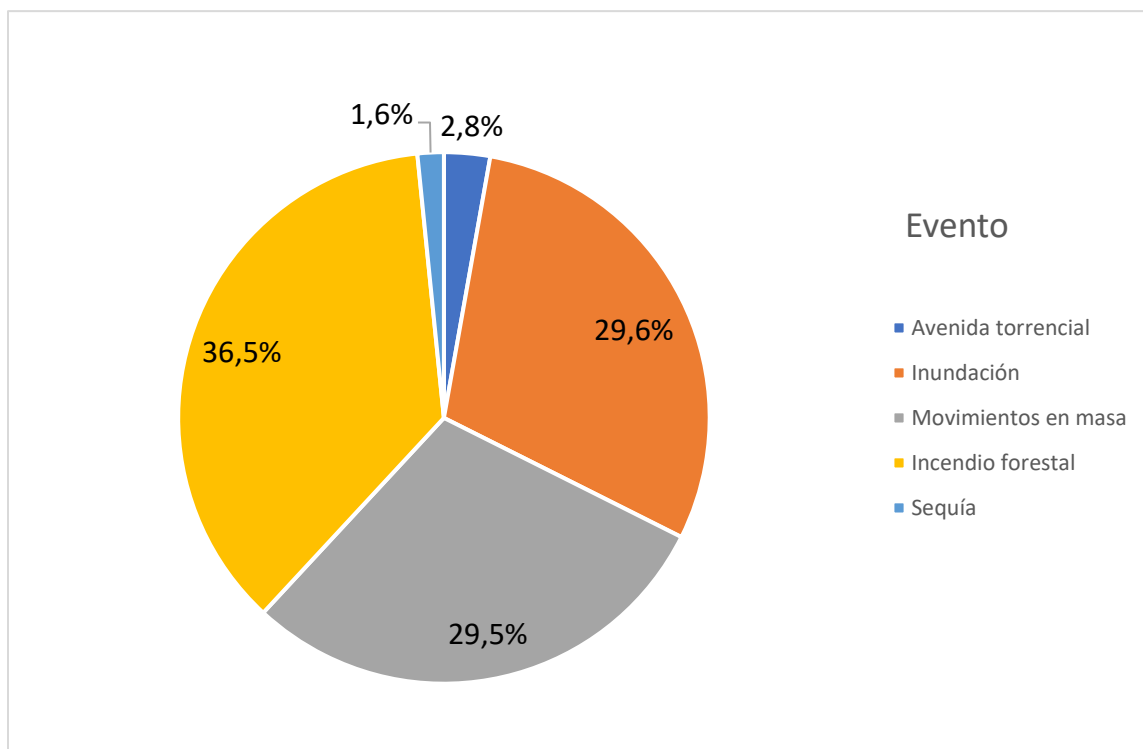
Resultados

A continuación, se muestra la gráfica (1) que hace referencia a los reportes realizados por cada evento de desastre para cuatro ventanas de tiempo (26 años). Los reportes realizados corresponden a datos del periodo 1914-2018.



Gráfica 1 Reportes realizados por cada evento de desastre para cuatro ventanas de tiempo (26 años).

En la gráfica (1) puede observarse que el evento que se manifiesta con mayor frecuencia en el departamento del Tolima es el incendio forestal con un total de 1015 reportes que se concentran en su mayoría al término del periodo. Igualmente, los movimientos en masa y las inundaciones también presentan una presencia importante en el territorio con un total de 819 y 823 reportes, respectivamente. Los otros eventos según el histórico de datos se manifiestan con menor frecuencia, pero es de tener en cuenta, que son eventos que una vez se presentan de manera imprevista generan un gran impacto a las comunidades.



Gráfica 2 Reportes de eventos de desastre por cada 100 desastres que ocurren en el departamento del Tolima.

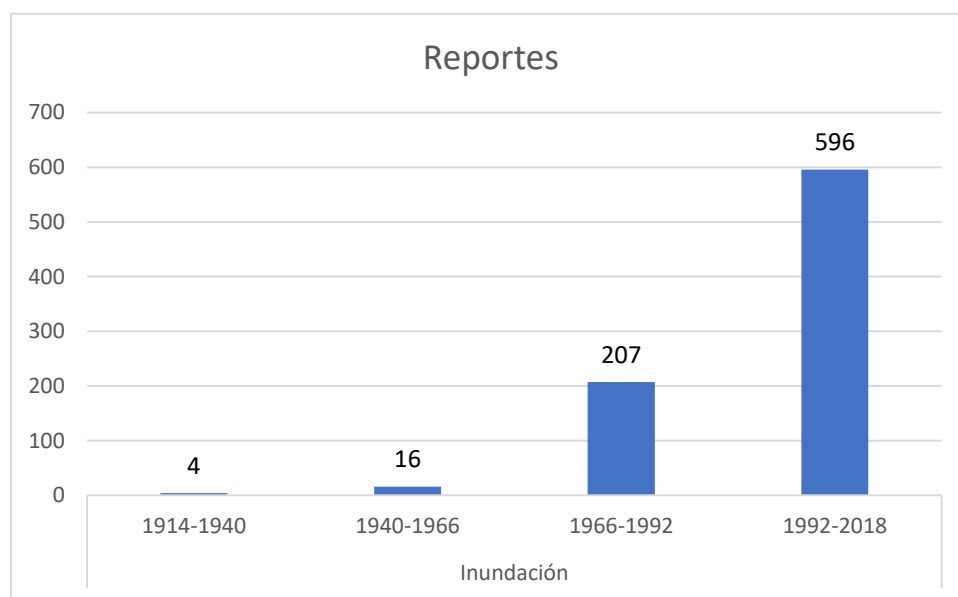
Como se mencionó anteriormente, el evento que se manifestó con mayor frecuencia en el territorio tolimese es el incendio de cobertura vegetal y esto puede observarse con mayor rigor a partir del diagrama de torta. En el cual, se observa que los incendios forestales han tenido una frecuencia histórica del 36,5 %. Las inundaciones con un porcentaje del 29,6 % y los movimientos

en masa con un porcentaje del 29,5% que representan igualmente una frecuencia histórica considerable. Los menores porcentajes hacen referencia a los eventos de sequía con un 1,6 % y las avenidas torrenciales con un porcentaje del 2,8 %.

A manera de realizar una síntesis descriptiva de los eventos de desastre que ocurren en el departamento del Tolima se emprende la tarea de hacer un análisis específico por cada evento de desastre.

Análisis Específico por cada Evento de Desastre

Análisis Histórico de Eventos por Inundación

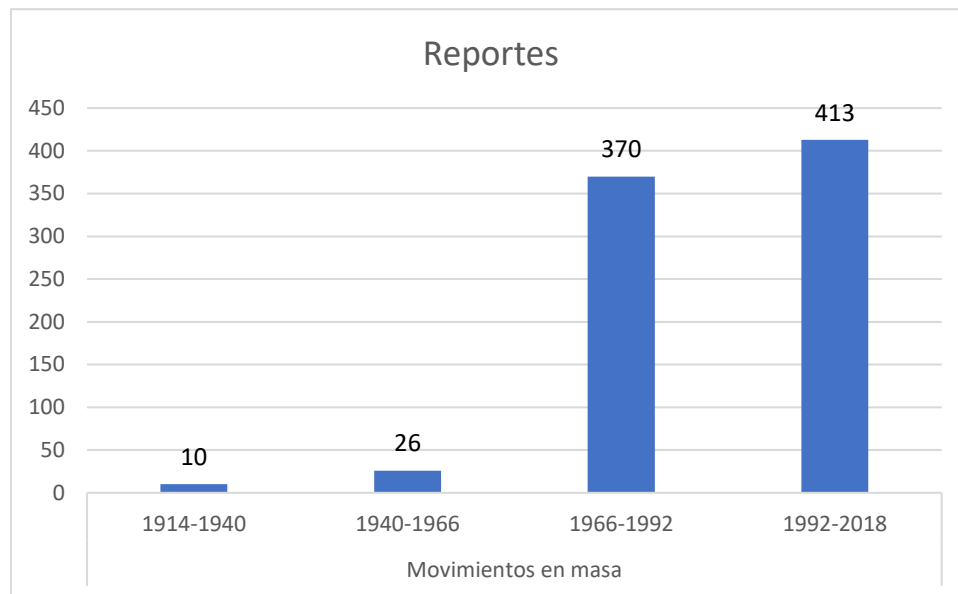


Gráfica 3 Eventos reportados por Inundación para cuatro ventanas de tiempo (26 años); Departamento del Tolima. DESINVENTAR (1994).

De acuerdo con la UNGRD (2018), los municipios que realizan mayor cantidad de reportes en la región Andina se concentran en las principales ciudades (Bogotá, Cali, Ibagué, Pereira, Medellín, Barrancabermeja, Puerto Witches, Pasto, Bucaramanga y Neiva), lo que contrasta con sus estructuras administrativa y organizacional, y a la distribución geográfica que las llevan a concentrar la mayor parte de la densidad demográfica de la región. Por otro lado, los municipios más susceptibles del departamento del Tolima para este tipo de evento son: Honda, Natagaima,

Coyaima, Ambalema, Guamo, Ortega, Melgar y áreas ubicadas hacia las riberas del río Magdalena, Saldaña, Cucuana, Chípalo, Bermellón, Anaime, Sabandija, Blanco, Lagunilla, Gualí, Coello, Totaré, Recio, Guarinó, Ortega y Sumapaz.

Análisis Histórico de Eventos por Movimientos en Masa

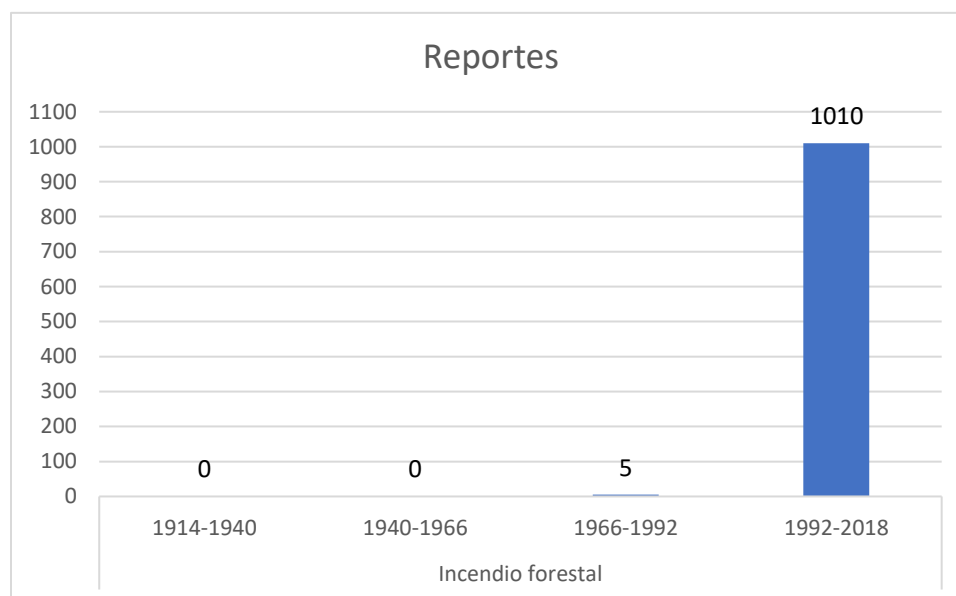


Gráfica 4 Eventos reportados por Movimiento en masa para cuatro ventanas de tiempo (26 años); Departamento del Tolima. DESINVENTAR (1994).

La particularidad en el periodo comprendido entre 1914-1996 en relación con los pocos reportes realizados, puede deberse a la falta de datos producto de eventos que ocurrieron en zonas aisladas, donde su estructura administrativa y organizacional incide en el número de reportes hechos. La región Andina, por su parte es una zona de alta actividad para este tipo de evento, debido en gran parte a la topografía y a las condiciones geológicas características de la región. Las zonas donde predominan este tipo de evento son zonas altamente influenciadas por variables intrínsecas condicionantes, tales como: geología, geomorfología, suelos, cobertura y morfometría, además de aspectos detonantes como el régimen de lluvias, los eventos sísmicos y acciones antrópicas de deforestación, pastoreo, labores mineras y obras civiles. Asimismo, en el departamento del Tolima las zonas más susceptibles a movimientos en masa se localizan hacia el

flanco oriental de la cordillera central, en los municipios de Planadas, Ataco, Natagaima, Coyaima, Guamo, Espinal, Cajamarca, Chaparral, entre otros.

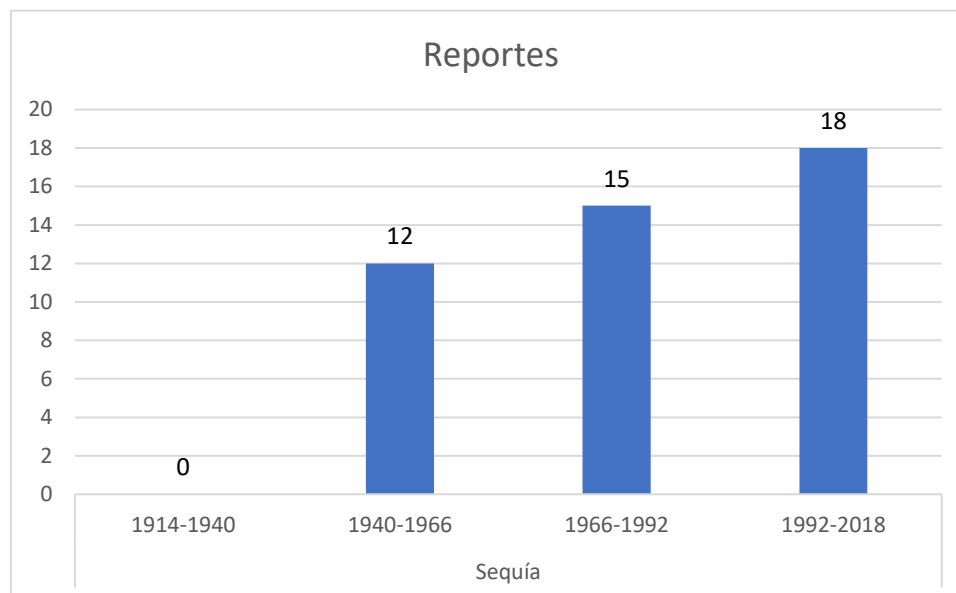
Análisis Histórico de Eventos por Incendios Forestales



Gráfica 5 Eventos reportados por Incendios en masa para cuatro ventanas de tiempo (26 años); Departamento del Tolima. DESINVENTAR (1994).

Los incendios de cobertura vegetal están asociados a las sequías y, estas a su vez, se ven influenciadas por la oscilación del sur (ENOS), fenómenos del Niño y la Niña. En el departamento del Tolima, las sequías se presentan en los periodos secos de diciembre-enero y julio-agosto, reduciendo el recurso hídrico que abastece la demanda y afecta la calidad de vida de las comunidades. De acuerdo con la Secretaria de Ambiente y Gestión del Riesgo de la ciudad de Ibagué en el periodo comprendido entre 2016 y 2018, se registraron 288 incendios forestales a lo largo del territorio tolimese. De manera que, este tipo de evento sobresale en el contexto actual frente a los movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales por su creciente aumento.

Análisis Histórico de Eventos por Sequías

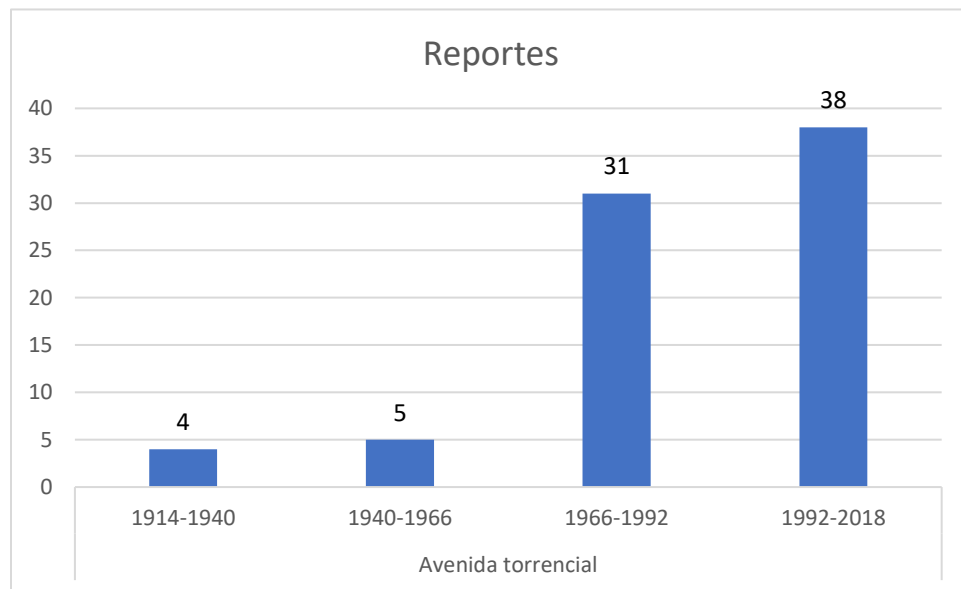


Gráfica 6 Eventos reportados por Sequías para cuatro ventanas de tiempo (26 años);

Departamento del Tolima. DESINVENTAR (1994).

Las sequías en la región Andina presentan un índice de afectación relativamente “bajo”, debido en parte a la presencia de la macrocuenca del Magdalena-Cauca que recorre el país desde el sur hasta la desembocadura de bocas de ceniza en Barranquilla. Sin embargo, es un evento que ha tenido un creciente aumento en el número de reportes, debido en gran parte a las actividades antrópicas.

Análisis Histórico de Eventos por Avenidas Torrenciales



Gráfica 7 Eventos reportados por Avenidas torrenciales para cuatro ventanas de tiempo

(26 años); Departamento del Tolima. DESINVENTAR (1994).

La región Andina presenta una gran tendencia para este tipo de evento, debido a su topografía. Por su parte, en el departamento del Tolima los reportes han ido en aumento en los últimos años, concentrándose la mayoría en la ciudad de Ibagué con índices de afectación alto, por lo general, en los periodos húmedos que van de marzo a mayo y de octubre a noviembre.

Propuesta del uso aplicativo del sensor MODIS en el desarrollo de cartografía temática del evento de desastre de mayor frecuencia en el departamento del Tolima.

En el título de **Resultados** del presente proyecto se determinó que el evento que ocurre con mayor frecuencia histórica en el departamento del Tolima es el incendio forestal, a partir de este análisis estadístico se emprende la tarea de caracterizar el grado de amenaza de dicho evento.

En cuanto al presente ejercicio de este capítulo se realizó con la finalidad de poner en práctica el conocimiento adquirido en el desarrollo del presente proyecto, tomando como referencia la metodología establecida en el *Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal*, (IDEAM, 2011), también de analizar que utilidades tiene el sensor MODIS y la teledetección como técnica de adquisición de información terrestre en la elaboración de cartografía temática para caracterizar el nivel de amenaza del departamento del Tolima frente al evento de desastre de mayor frecuencia

Integración de los Factores

En la generación de la zonificación de amenaza de incendios forestales se deben tener en cuenta la integración de los diferentes factores que contribuyen a su detonación, dentro de ellos encontramos la susceptibilidad de la vegetación a incendios, el factor climático, el factor relieve, el factor histórico y el factor accesibilidad. A continuación, se ilustra de forma esquemática los factores que integran la elaboración de la zonificación de amenaza de incendios forestales:

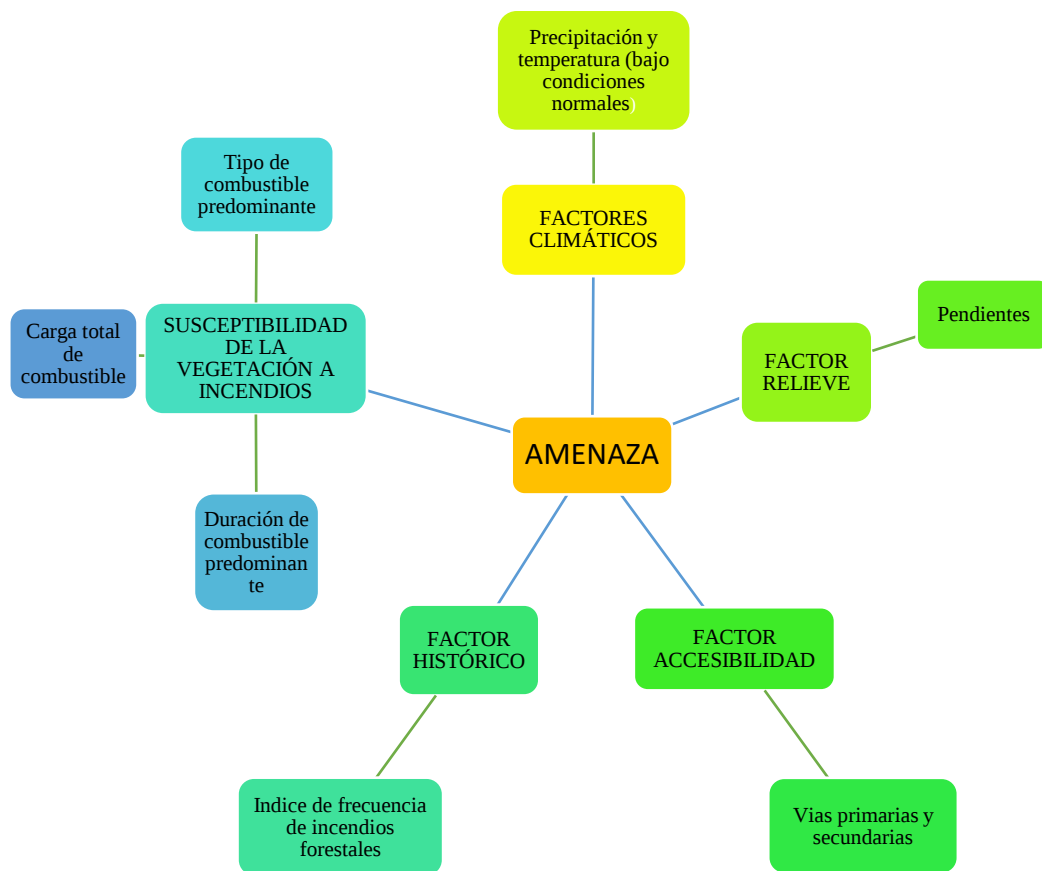


Figura 13 Integración de factores para la generación del mapa de amenaza.

Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios Forestales

Para la generación de este mapa se debe disponer del mapa de cobertura vegetal según la clasificación Corine Land Cover, para que sea reclasificado según el tipo de combustibles, la duración de combustibles y su carga total.

Generación del Mapa de Tipo de Combustibles

La reclasificación por tipo de combustible se refiere a que por cada tipo de cobertura presente en el área de estudio es dominante un tipo de combustible en específico. De tal manera, que a cada tipo de combustible que predomina se le asigne una categoría de amenaza, una

calificación y un color que lo identifique. A continuación, se ilustra la siguiente tabla con sus respectivos datos:

Tabla 6 Calificación y categorización de la amenaza por tipo de combustible.

Cobertura	Amenaza	Calificación	Color
Tejido urbano continuo; Tejido urbano discontinuo; Zonas industriales o comerciales; Zonas de extracción minera; Zonas arenosas naturales; Afloramientos rocosos; Tierras desnudas y degradadas; Zonas quemadas; Zonas glaciares y nivales; Zonas pantanosas; Vegetación acuática sobre cuerpos de agua; Pantanos costeros; Salitral; Sedimentos expuestos en bajamar; Ríos (50m); Lagunas, lagos y ciénagas naturales; Lagunas costeras; Mares y océanos.	Muy baja	1	
Cultivos permanentes arbóreos; Bosque denso; Bosque abierto; Bosque fragmentado; Bosque de galería y ripario; Plantación forestal.	Baja	2	
Vegetación secundaria o en transición.	Moderada	3	
Cultivos permanentes herbáceos; Cultivos permanentes arbustivos; Mosaico de cultivo; Cereales; Otros cultivos transitorios; Herbazal; Arbustal.	Alta	4	
Zonas verdes urbanas; Instalaciones recreativas; Pastos limpios; Pastos arbolados; Pastos enmalezados; Mosaico de pastos y cultivos; Mosaico de cultivos; pastos y espacios naturales; Mosaico de pastos con espacios naturales; Mosaico de cultivos con espacios naturales.	Muy alta	5	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Generación del Mapa de Duración de Combustibles

A partir del tipo de cobertura vegetal presente en el área de estudio se realiza una reclasificación de acuerdo con la duración del combustible predominante. Esta duración se refiere en ultimas, a la categorización del tipo de cobertura que predomina en base a la duración de fuego

activo. De tal manera, que a cada duración de combustible se le asigne una categoría de amenaza, una calificación y un color que lo identifique. A continuación, se ilustra la siguiente tabla con sus respectivos datos:

Tabla 7 Calificación y categorización de la amenaza por factor de duración de combustibles.

Cobertura	Duración	Amenaza	Calificación	Color
Tejido urbano continuo; Tejido urbano discontinuo; Zonas industriales o comerciales; Zonas de extracción minera; Zonas arenosas naturales; Afloramientos rocosos; Tierras desnudas y degradadas; Zonas quemadas; Zonas glaciares y nivales; Zonas pantanosas; Vegetación acuática sobre cuerpos de agua; Pantanos costeros; Salitral; Sedimentos expuestos en bajamar; Ríos (50m); Lagunas, lagos y ciénagas naturales; Lagunas costeras; Mares y océanos.	Menos de una hora	Muy baja	1	
Zonas verdes urbanas; Instalaciones recreativas; Pastos limpios; Pastos arbolados; Pastos enmalezados; Mosaico de pastos y cultivos; Mosaico de cultivos; pastos y espacios naturales; Mosaico de pastos con espacios naturales; Mosaico de cultivos con espacios naturales.	Una hora	Baja	2	
Cultivos permanentes herbáceos; Cultivos permanentes arbustivos; Cereales; Otros cultivos transitorios; Herbazal; Arbustal; Vegetación secundaria o en transición.	10 horas	Moderada	3	
Cultivos permanentes arbóreos; Bosque denso; Bosque abierto; Bosque fragmentado; Bosque de galería y ripario; Plantación forestal.	100 horas	Alta	4	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Generación del Mapa de Carga de Combustibles

A partir del tipo de cobertura vegetal presente en el área de estudio se realiza una reclasificación de acuerdo con la carga total de combustibles. Básicamente, consiste en extraer información específica del contenido de biomasa (expresada en toneladas por hectárea) para los diferentes tipos de cobertura. De tal manera, que a cada carga total de combustible se le asigne una categoría de amenaza, una calificación y un color que lo identifique. A continuación, se ilustra la siguiente tabla con sus respectivos datos.

Tabla 8 Calificación y categorización de la amenaza por factor de carga total de combustibles.

Cobertura	Carga	Amenaza	Calificación	Color
Tejido urbano continuo; Tejido urbano discontinuo; Zonas industriales o comerciales; Zonas de extracción minera; Zonas arenosas naturales; Afloramientos rocosos; Tierras desnudas y degradadas; Zonas quemadas; Zonas glaciares y nivales; Zonas pantanosas; Vegetación acuática sobre cuerpos de agua; Pantanos costeros; Salitral; Sedimentos expuestos en bajamar; Ríos (50m); Lagunas, lagos y ciénagas naturales; Lagunas costeras; Mares y océanos.	Menos de una Tonelada por hectárea	Muy baja	1	
Zonas verdes urbanas; Instalaciones recreativas; Cultivos permanentes herbáceos; Cereales; Otros cultivos transitorios; Pastos limpios; Pastos arbolados; Pastos enmalezados; Mosaico de cultivos; Herbazal.	De 1 a 50 Toneladas por hectárea	Baja	2	
Cultivos permanentes arbustivos; Mosaico de pastos y cultivos; Mosaico de cultivos; Pastos y espacios naturales; Mosaico de pastos con espacios naturales; Mosaico de cultivos con espacios naturales; Arbustal; Vegetación secundaria o en transición.	De 50 a 100 Toneladas por hectárea	Moderada	3	

Cultivos permanentes arbóreos; Bosque denso; Bosque abierto; Bosque fragmentado; Bosque de galería y ripario; Plantación forestal.	De 100 a 150 Toneladas por hectárea	Alta	4	
---	---	------	---	---

Tomado de (IDEAM, 2011)

A partir del mapa de tipo de combustibles, duración de combustibles y carga de combustibles se realiza la suma ponderada para generar el mapa de susceptibilidad de la vegetación a incendios mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct) \quad (10)$$

Donde:

$SUSC$: susceptibilidad de la vegetación

$CAL(tc)$:calificación por tipo de combustible

$CAL(dc)$:calificación de la duración de los combustibles

$CAL(ct)$:calificación de la carga total de combustibles.

Factor Climático

Precipitación

A continuación, se muestra la calificación y categorización del factor climático por precipitación dividido en cinco categorías de amenaza y se define un color característico:

Tabla 9 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor de precipitación.

Precipitación media anual	Calificación de la amenaza	Categoría de amenaza	Color
Más de 3000 mm	1	Muy baja	
Entre 2000 y 3000 mm	2	Baja	
Entre 1000 y 2000 mm	3	Moderada	
Entre 500 y 1000 mm	4	Alta	
Entre 0 y 500 mm	5	Muy alta	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Temperatura

A continuación, se muestra la calificación y categorización por amenaza del factor climático por temperatura dividido en cinco categorías de amenaza y se define un color característico.

Tabla 10 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor de temperatura.

Temperatura media anual	Calificación de la amenaza	Categoría de amenaza	Color
Menos de 6°C	1	Muy baja	
Entre 6 y 12°C	2	Baja	
Entre 12 y 18°C	3	Moderada	
Entre 18 y 24°C	4	Alta	
Más de 24°C	5	Muy alta	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Factor Relieve

A partir del modelo digital de elevación (MDE) es posible generar el mapa de pendientes en porcentaje o en grados, para este caso en particular, conviene disponer del mapa de pendientes en porcentaje. A continuación, se muestra la reclasificación por pendiente asignándole una categoría de amenaza, calificación y color.

Tabla 11 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor relieve.

Pendiente	Calificación de la amenaza	Categoría de amenaza	Color
Entre 0 y 7%	1	Muy baja	
Entre 7 y 12%	2	Baja	
Entre 12 y 25%	3	Moderada	
Entre 25 y 75%	4	Alta	
>75%	5	Muy alta	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Factor Histórico

A partir de reportes realizados a lo largo de la historia se puede generar un índice de frecuencia que permita identificar aquellos puntos geográficos con mayor recurrencia de incendios forestales. El análisis se puede realizar mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$F_i = \frac{1}{a} \sum_1^a n_i \quad (11)$$

Donde

F_i : frecuencia de incendio

a : número de años

ni: número de incendios de cada año

Factor Accesibilidad

Para el análisis de este factor se debe realizar con apoyo de un software (ArcGIS) la zonificación de áreas de influencia (Buffer), se generan 5 zonas cada una de 500 m a partir de las vías primarias y secundarias del área de estudio (departamento del Tolima), sobre las cuales se asigna la calificación para la generación de la amenaza que se pueda presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre esta (IDEAM, 2011). A partir de este factor es posible determinar el grado de acercamiento de la población con las coberturas vegetales, así pues, a mayor cercanía aumenta la posibilidad de generación de un incendio forestal.

Tabla 12 Calificación y categorización de la amenaza de incendios forestales por factor accesibilidad.

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BBUFFER EN m)	Calificación de la amenaza	Categoría de amenaza	Color
Más de 2000	1	Muy baja	
1500 - 2000	2	Baja	
1000 - 1500	3	Moderada	
500 - 1000	4	Alta	
0 - 500	5	Muy alta	

Tomado de (IDEAM, 2011)

Generación del Mapa de Amenazas por Incendios Forestales

Con todos los insumos se realiza una suma ponderada para generar el mapa de amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima empleando el álgebra de mapas, para mayor detalle acerca del procedimiento puede remitirse al documento *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura escala 1:100.000* del IDEAM.

$$\begin{aligned} \text{Amenaza} = & \text{susceptibilidad de la vegetación} \times (0,17) + \\ & \text{precipitación} \times (0,25) + \text{temperatura} \times (0,25) + \text{pendientes} \times (0,03) + \\ & \text{frecuencia} \times (0,05) + \text{accesibilidad} \times (0,03) \end{aligned} \quad (12)$$

Normalización

La normalización de índices permite ajustar los valores medidos a una escala común, teniendo en cuenta que los valores de cada factor se presentan con variables continuas y adquieren características de grupos difusos, es decir, que presentan vaguedad en la definición de sus límites y rangos, para poder llegar a categorizarlos y clasificarlos adecuadamente, se requiere de una normalización.

El criterio de normalización empleado se basa en la normalización min-max:

$$\text{Factor normalizado} = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (13)$$

Donde:

x : valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor

Min: valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max: valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

Se determina la amplitud del rango normalizado a través de la ecuación (14) y los datos se agrupan en 5 categorías:

$$\text{Amplitud del rango} = ((Max1 - Min1))/n \quad (14)$$

Donde:

Min1: valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio

Max1: valor máximo normalizado del factor en toda el área de estudio

n: número total de datos en cada factor

Los rangos obtenidos se les asigna una clasificación categórica de la siguiente manera:

- Muy bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Muy alto

Insumos

Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios Forestales

El insumo indispensable para la generación del mapa de tipo de combustibles, duración de combustibles y carga de combustibles es el mapa de cobertura de la tierra del periodo (2010–2012), el cual fue obtenido a partir de la base de datos abierta del IDEAM.

A partir de este mapa se realiza la respectiva reclasificación de cada uno de los mapas y se califican y categorizan de acuerdo con la metodología del protocolo del IDEAM.

Factor Climático

Los datos de precipitación media anual multianual y temperatura media anual multianual fueron obtenidos a través de la base de datos de WorldClim que incluye datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial aplicativos para mapeo y modelado espacial. Estos datos fueron tratados a través del entorno del software ArcGIS, donde se extrajo información correspondiente a la precipitación y temperatura de diferentes puntos distribuidos en todo el territorio tolimense, que hacen referencia a los puntos de las estaciones meteorológicas ubicadas en tierra. Los datos de WorldClim vienen en una resolución espacial de 30 seg (1 Km²) y son registros del periodo de 1970-2000, lo que en efecto permite caracterizar el comportamiento del clima, por tratarse de datos de un periodo de 30 años (WMO, 2002). El análisis de este factor se realizó bajo condiciones climáticas normales y no bajo la incidencia de anomalías como la del fenómeno del Niño.

Factor Relieve

La fuente donde se obtuvo la información necesaria para la elaboración del mapa de pendientes proviene del modelo digital de elevación (MDE) del sensor ASTER, que se encuentra a bordo del satélite Terra y hace parte del programa EOS. Estos datos de dicho sensor presentan

una resolución espacial de 30 metros en el sistema coordenadas WGS 84 y se pueden adquirir de forma gratuita a través de la plataforma web de la NASA Earthdata. A continuación, se muestra la lista de imágenes que sirvieron de insumo para la generación de un mosaico del área de interés (departamento del Tolima):

Tabla 13 Imágenes satelitales ASTER.

Imágenes (Resolución de 30 m)
ASTGTMV003_N02W074_dem.tif
ASTGTMV003_N02W075_dem.tif
ASTGTMV003_N02W076_dem.tif
ASTGTMV003_N02W077_dem.tif
ASTGTMV003_N03W074_dem.tif
ASTGTMV003_N03W075_dem.tif
ASTGTMV003_N03W076_dem.tif
ASTGTMV003_N03W077_dem.tif
ASTGTMV003_N04W074_dem.tif
ASTGTMV003_N04W075_dem.tif
ASTGTMV003_N04W076_dem.tif
ASTGTMV003_N04W077_dem.tif
ASTGTMV003_N05W074_dem.tif
ASTGTMV003_N05W075_dem.tif
ASTGTMV003_N05W076_dem.tif
ASTGTMV003_N05W077_dem.tif

Factor Histórico

La fuente donde se obtuvo información histórica correspondiente a los reportes de incendios forestales en el departamento del Tolima proviene directamente de la base de datos de DESINVENTAR, la cual recopila información histórica de los diferentes tipos de eventos de desastre que ocurren en toda la extensión de sur América. También, gracias a estos datos se pudo

realizar el análisis estadístico en el título de **Resultados** del presente proyecto para determinar que el evento que ha sido más recurrente en el territorio tolimense es el incendio forestal.

Factor Accesibilidad

La fuente de datos para este factor incluye capas de vías primarias y secundarias del departamento del Tolima que fueron obtenidas a partir de la base de datos abiertas del INVIAS.

Mapa de Amenaza

El mapa de amenaza de incendios forestales en el departamento del Tolima es el resultado de la suma ponderada realizada a partir de la herramienta álgebra de mapas de ArcGIS, que se cumple en la ecuación (12).

Definición de la Escala y del Sistema de Coordenadas

La escala definida en el presente ejercicio es de 1:1.400.000. y el sistema de coordenadas definido es el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator, en coordenadas planas. De acuerdo con el mapa global de zonas UTM, el área de estudio (departamento del Tolima) se ubica en la zona 18 N. Por tanto, el sistema de proyección adoptado es WGS 84 UTM zona 18 N.

Parámetros del sistema de coordenadas:

Sistema de coordenadas proyectadas: WGS 84 UTM zona 18 N

Proyección: Transverse Mercator

Falso Este: 500000,0

Falso Norte: 0,0

Meridiano central: -75,0

Factor de escala: 0,9996

Origen de latitud: 0,0

Unidad lineal: Metros

Resultados

Como resultado del análisis de vulnerabilidad se entregan cuatro mapas que representan la susceptibilidad del departamento del Tolima frente al tipo de combustible, duración del combustible, carga total del combustible y el producto de la suma de estos la susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios. El grado de vulnerabilidad se agrupa en diferentes categorías que expresan el nivel de amenaza presente en el territorio tolimente bajo un color característico que permite sea identificable.

Los demás factores que inciden en el nivel de amenaza de incendios de cobertura vegetal en el departamento del Tolima también se categorizan a fin de caracterizar el nivel de amenaza. Todos los aspectos que componen el presente estudio fueron abordados empleando como recurso, productos derivados de la teledetección. Aunque el sensor MODIS no constituye ser la fuente principal de información para el presente ejercicio, se describirán las posibles aplicaciones del sensor MODIS en una de las etapas del protocolo realizado, también se describirá posibles programas para el monitoreo, detección y control de incendios forestales.

Las imágenes ráster generadas durante el proceso vienen en una resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits para realizar la suma de álgebra de mapas.

Susceptibilidad por Tipo de Combustible

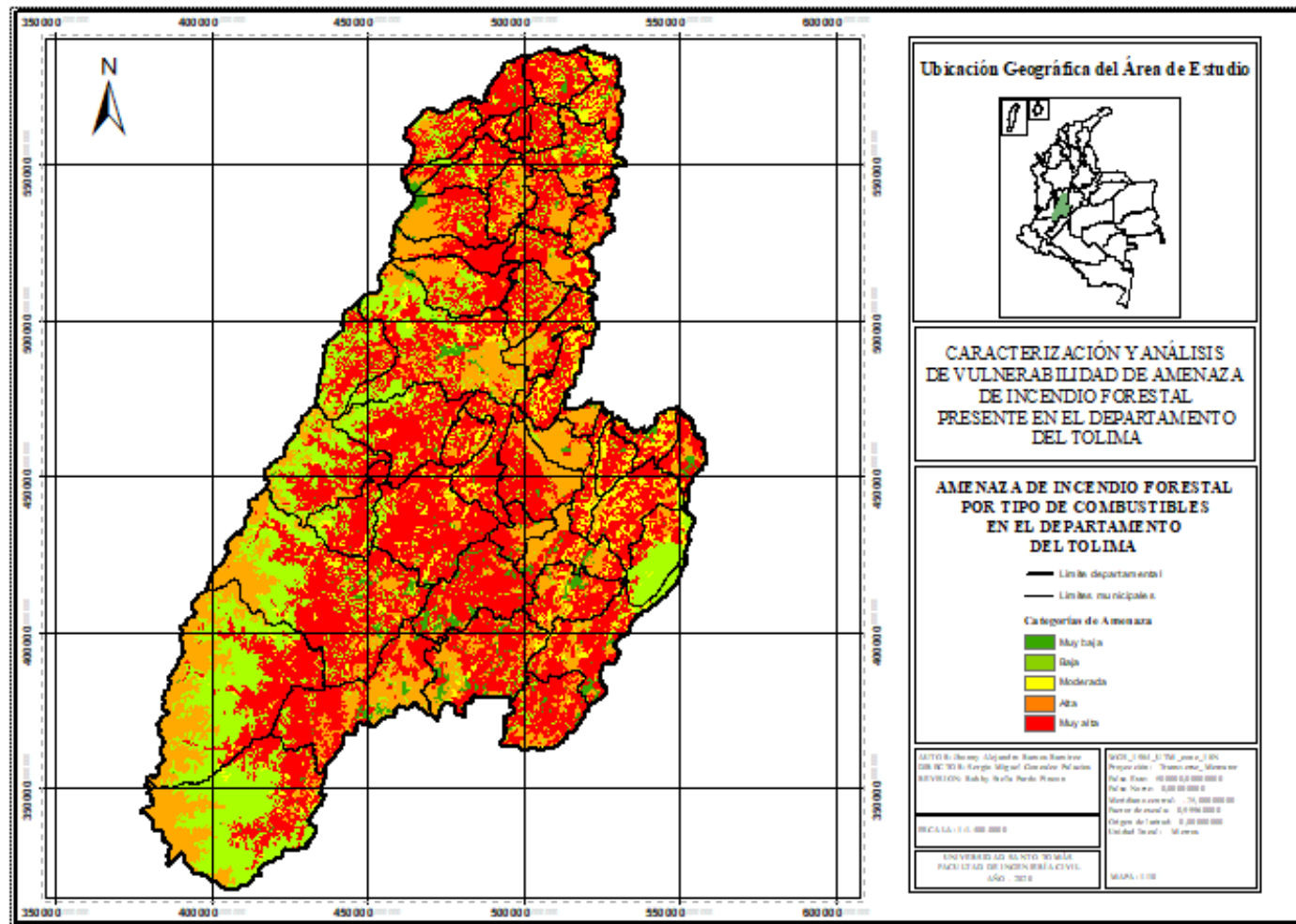


Figura 14 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de tipo de combustible.

Para la generación de este mapa se trabajó en el software ArcGIS, haciendo una reclasificación del insumo de cobertura de la tierra del periodo 2010-2012 (formato shapefile), como el mapa en su totalidad comprende todo el territorio colombiano, se exporta específicamente el shapefile del departamento del Tolima para disponer y hacer uso del mismo. A partir de la reclasificación del mapa de cobertura de la tierra delimitado solo al área de estudio, se emprende la tarea de conversión de formato shapefile a ráster mediante la herramienta *Conversion Tools* del entorno ArcGIS. La etapa de reclasificación de la imagen ráster es llevada a cabo a través de la herramienta *Spatial Analyst Tools-Reclass*, dividiendo las 5 clases de amenaza con el método de clasificación *Equal Interval*. Ya realizada la reclasificación del mapa en las 5 categorías de amenaza establecidas se procede a asignar a cada categoría de amenaza el color que le corresponde a través de las propiedades de la capa-*symbolology-classified*.

Tabla 14 Porcentajes de categorías de amenaza por Tipo de combustible.

Calificación	Tipo de combustible		
	Categoría de amenaza	Área (Km2)	Porcentaje
1	Muy baja	661,19	2,74
2	Baja	4722,27	19,59
3	Moderado	1568,41	6,51
4	Alta	5043,12	20,92
5	Muy alta	12115,4	50,25

El mayor porcentaje corresponde a la categoría de amenaza “Muy alta” que se distribuye a lo largo del territorio tolimese, donde predomina el combustible de pastos y mosaicos de cultivos, lo cual contrasta con la actividad agrícola que predomina en la región. La categoría “Alta” presenta también un porcentaje importante en el territorio debido a la presencia de cultivos transitorios, cereales, arbustales y herbazales.

Susceptibilidad por Duración de Combustible

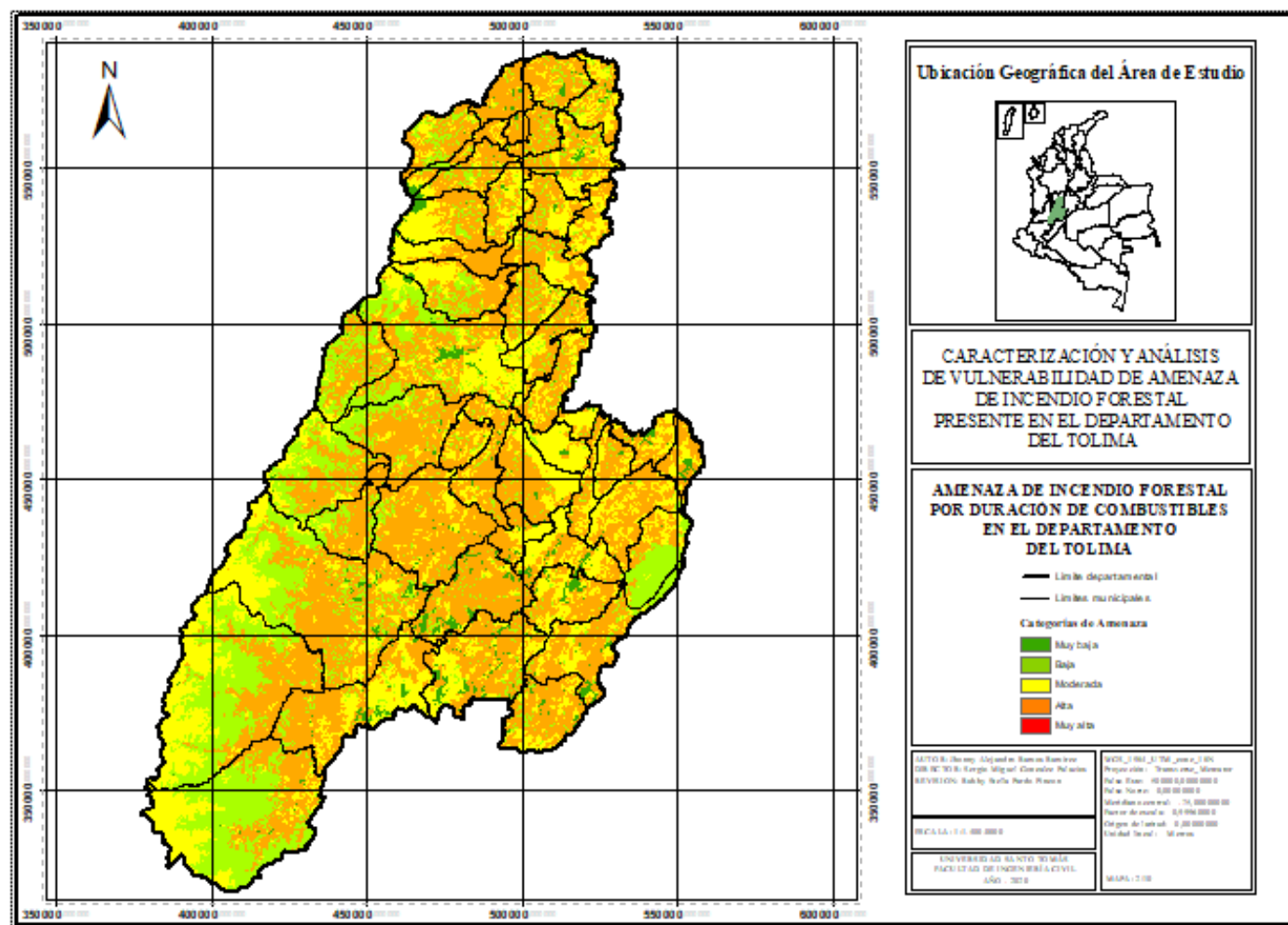


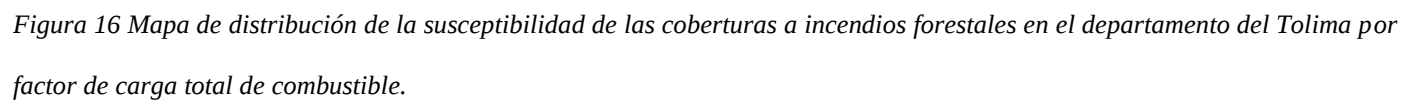
Figura 15 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de duración de combustible.

El procesamiento llevado a cabo para la generación de este mapa dispone del mapa de cobertura de la tierra del periodo 2010-2012, haciendo una reclasificación de este a partir de la duración de combustible en formato shapefile que luego con ayuda de la herramienta de conversión de ArcGIS se convierte a imagen ráster de resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits, luego se reclasifica con la herramienta *Reclass* y se le asignan las categorías de amenaza.

Tabla 15 Porcentajes de categoría de amenaza por duración de combustible.

Calificación	Duración de combustible		
	Categoría de amenaza	Área (Km2)	Porcentaje
1	Muy baja	661,19	2,74
2	Baja	4722,27	19,59
3	Moderado	6611,53	27,42
4	Alta	12115,40	50,25
5	Muy alta	0	0

La categoría de amenaza con mayor porcentaje en el departamento del Tolima para el factor de susceptibilidad por duración de combustible es “Alta”, lo que indica que son altas las probabilidades de incidencia de incendios, esto puede deberse principalmente a la presencia de combustibles con baja duración de ignición.



El insumo para realizar este mapa es el mapa de cobertura de la tierra del periodo 2010-2012, se reclasifica las diferentes zonas de cobertura de la tierra a partir de la carga total de combustibles desde el formato shapefile y luego se convierte a imagen ráster de resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 16 Porcentajes de categoría de amenaza por carga total de combustible.

Calificación	Carga total de combustible		
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	Porcentaje
1	Muy baja	661,19	2,74
2	Baja	8115,27	33,66
3	Moderado	10622,17	44,06
4	Alta	4711,75	19,54
5	Muy alta	0	0

Analizando la susceptibilidad por carga total de combustible se infiere que la categoría de amenaza “Moderado” se manifiesta con mayor porcentaje en el territorio, donde predominan los mosaicos de pastos y cultivos, mosaico de pastos y cultivos en espacios naturales y arbustales. Por otro lado, la categoría que también se presenta con un porcentaje importante en el territorio corresponde ser “Baja” con un 33,66%.

Susceptibilidad de la Cobertura Vegetal a los Incendios

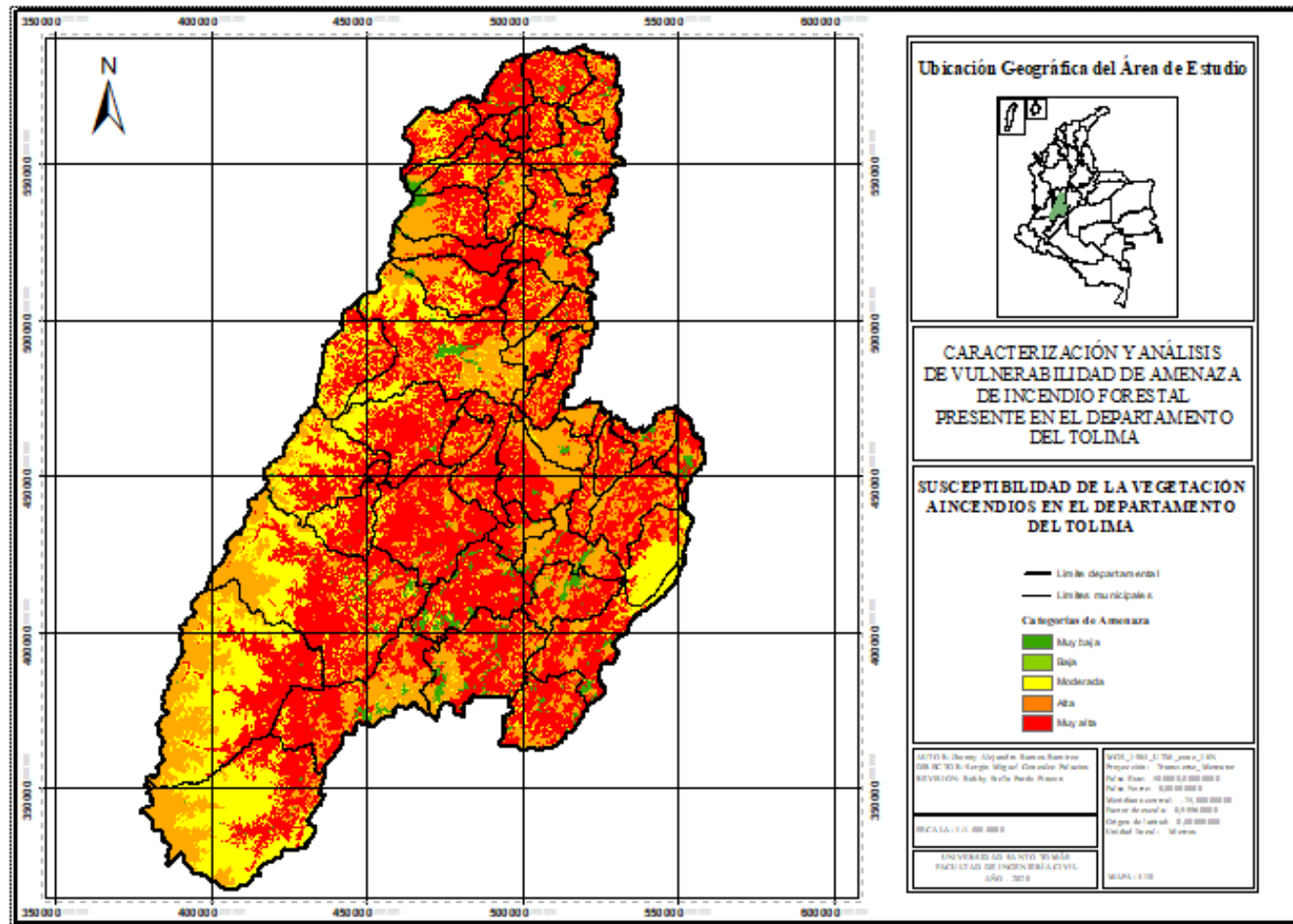


Figura 17 Mapa de distribución de la susceptibilidad de las coberturas a incendios forestales en el departamento del Tolima.

Es el resultado de la suma de los mapas de susceptibilidad por tipo de combustible, duración de combustible y carga total de combustible y da como resultado una imagen ráster de resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 17 Porcentajes de categoría de amenaza de susceptibilidad a los incendios.

Calificación	Susceptibilidad		
	Categoría de amenaza	Área (Km2)	Porcentaje
1	Muy baja	658,77	2,73
2	Baja	0	0
3	Moderado	4717,37	19,57
4	Alta	6612,42	27,43
5	Muy alta	12121,32	50,27

La susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios es el resultado de la suma ponderada de mapas, dando como resultado una aproximación del grado de susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios en el departamento del Tolima. A partir del análisis de dicho resultado, se determinó que el 50, 27 % del territorio presenta categoría de amenaza “Muy alta”, lo cual suscita gran interés, ya que la zonificación de ésta se distribuye en casi todo el territorio. También la categoría “Alta” se manifiesta con gran presencia en el territorio con un 27,43%.

Factor Climático

Precipitación

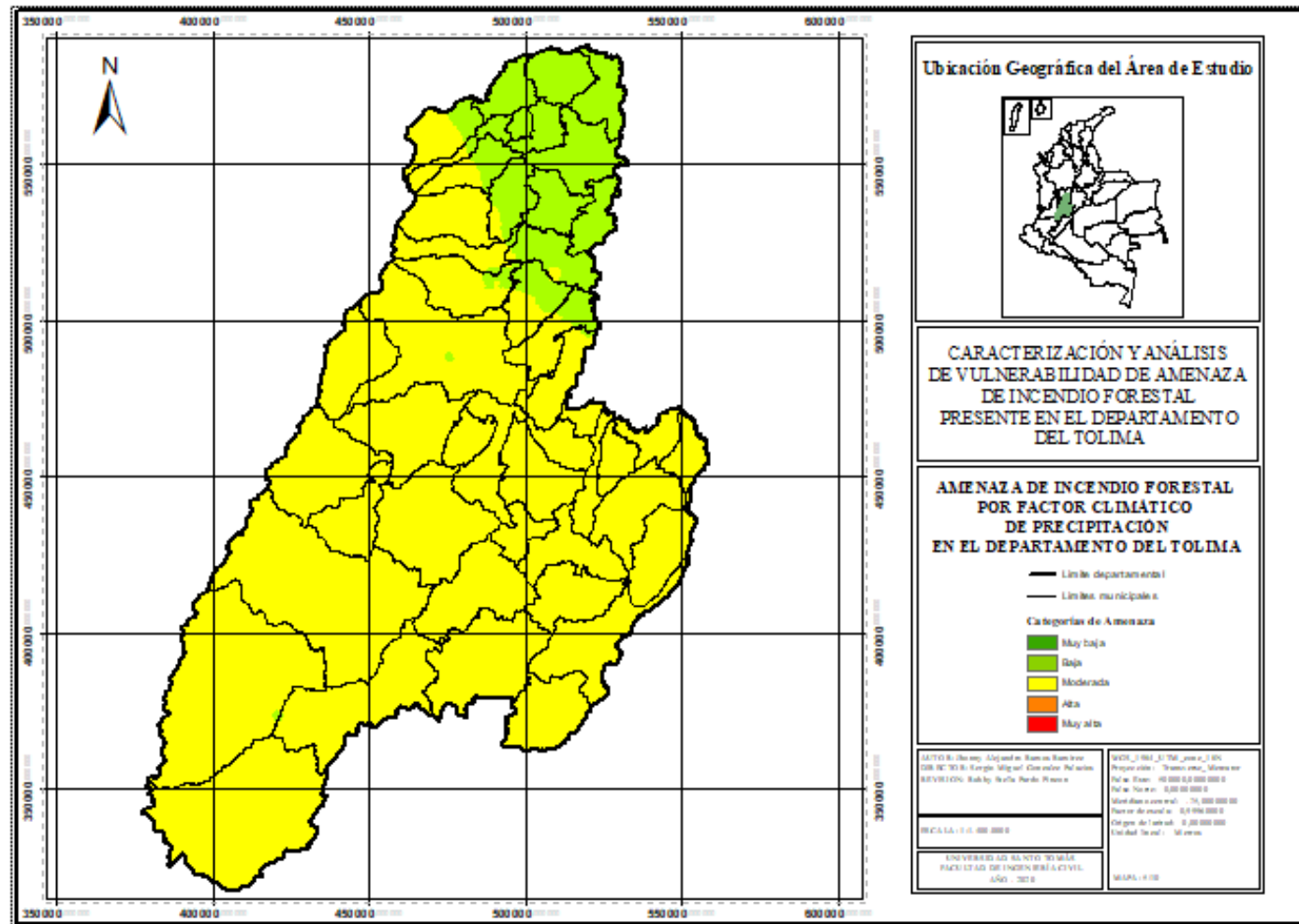


Figura 18 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de precipitación.

A partir de las Imágenes de WorldClim que presentan información de la precipitación media mensual multianual incluida en cada píxel de 30 s (1 Km²), se recoge información de diferentes puntos distribuidos en el territorio que corresponden a la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas ubicadas en tierra que, asimismo, permiten calcular la precipitación media anual multianual. Una vez recopilada la información se emplean esos mismos puntos para la representación de los niveles de precipitación a lo largo del territorio con ayuda de la herramienta de interpolación *Kriging*. La representación gráfica de los niveles de precipitación se hace a una resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits, también se reclasifica con ayuda de la herramienta *Reclass* y se agrupan los niveles de precipitación en las 5 categorías de amenaza.

Tabla 18 Porcentajes de categoría de amenaza por precipitación.

Calificación	Precipitación		Porcentaje
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	
1	Muy baja	0	0
2	Baja	3304,70	13,71
3	Moderado	20805,55	86,29
4	Alta	0	0
5	Muy alta	0	0

En general el departamento del Tolima presenta niveles de precipitación que se encuentran en las categorías de amenaza “Baja” y “Moderada”, la categoría que predomina es la “Moderada” ubicándose en casi toda la extensión del territorio, y la categoría “Baja”, que se concentra en el estrecho norte del departamento. Estos resultados indican que los niveles de precipitación media anual multianual son relativamente moderados contribuyendo a aumentar el riesgo de aparición de incendios por posible desabastecimiento del recurso hídrico en zonas de cubierta vegetal durante épocas en las que incide el fenómeno del ENOS.

Temperatura

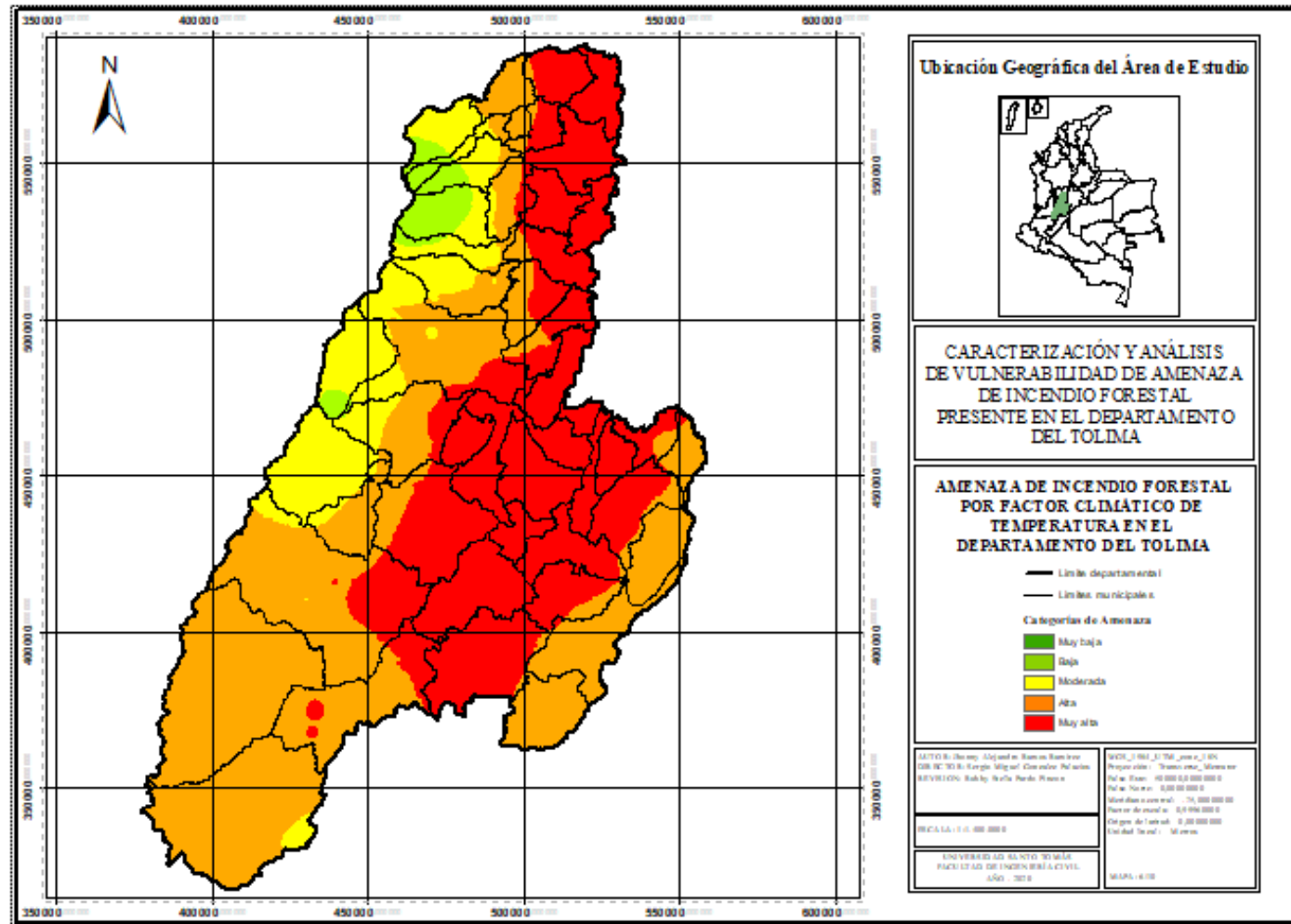


Figura 19 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de temperatura.

Al igual que el mapa de precipitación el insumo fundamental para la generación del mapa de temperaturas son los datos proporcionados por WorldClim, pero en lugar de disponer de datos de precipitación se hace uso de los datos de temperatura mensual multianual, para el cálculo de la temperatura media anual multianual, de esta manera se hace una reclasificación y se agrupan las temperaturas de acuerdo con el nivel de amenaza del factor climático. La resolución espacial de la imagen ráster generada viene en 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 19 Porcentajes de categoría de amenaza por temperatura.

Calificación	Temperatura		
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	Porcentaje
1	Muy baja	0	0
2	Baja	665,37	2,76
3	Moderado	3090,61	12,82
4	Alta	10916,73	45,28
5	Muy alta	9437,49	39,14

La temperatura media anual multianual varía de los 6° a 24°C en el territorio tolimense, la mayor parte del territorio se encuentra en categoría de amenaza “Alta” (18°-24°C) y “Muy alta” (>24°), lo que indica que gran parte del territorio es susceptible a incendios de cobertura vegetal por factor climático de temperatura. La variabilidad en la temperatura se ve directamente influenciada por el gradiente térmico, base de la cual se categorizan los pisos térmicos (IGAC, 2018). Las zonas de menor temperatura se concentran en las zonas nivales características de la región, de las cuales destacan: el nevado del Tolima y Ruiz, por otro lado, las zonas de mayor temperatura se ubican en las zonas de menor altitud.

Factor Relieve

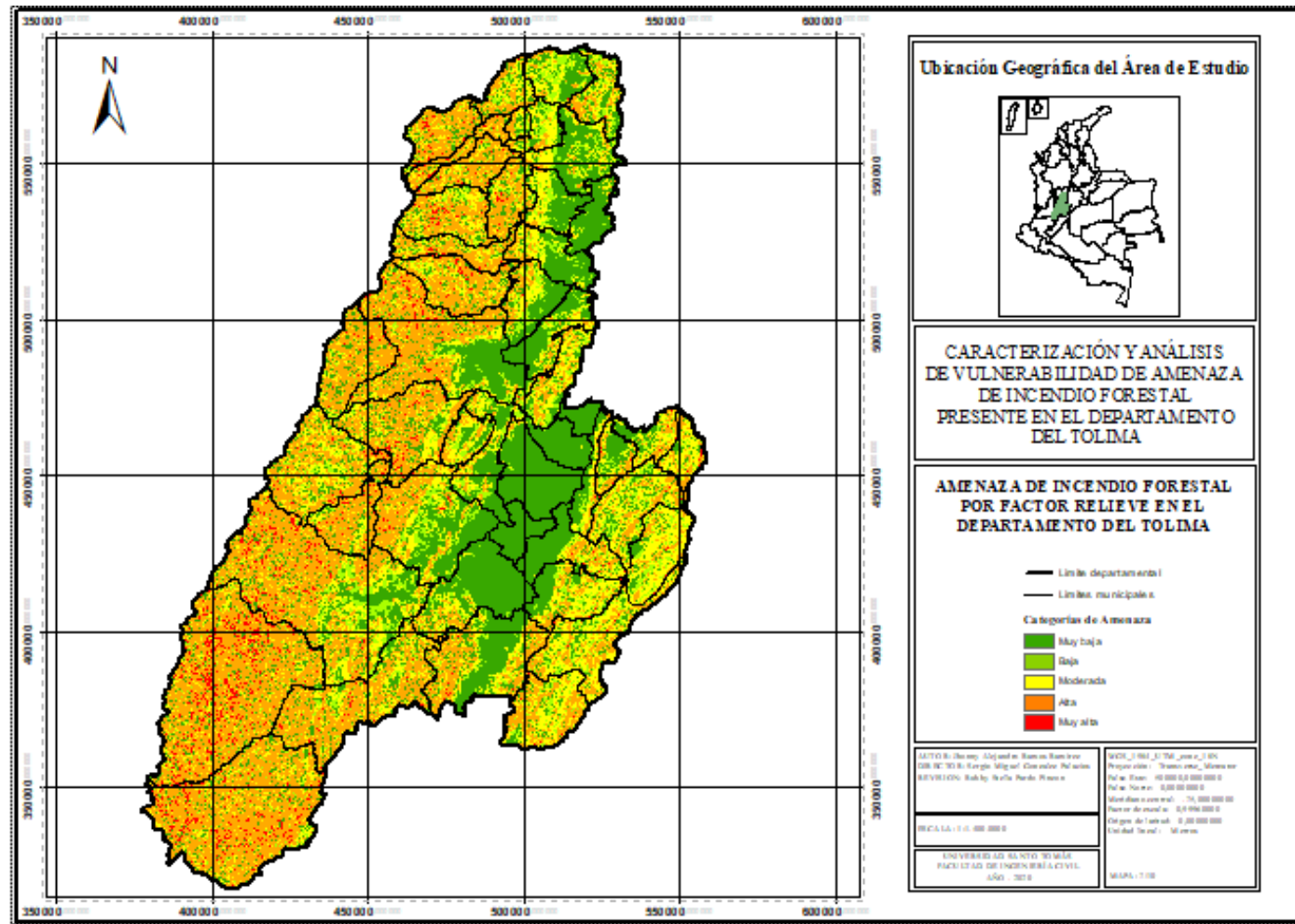


Figura 20 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de relieve.

El procesamiento de las imágenes DEM (por sus siglas en inglés, Digital Elevation Model) del área de estudio (departamento del Tolima) contempla la etapa de generar un mosaico compuesto de 16 imágenes del instrumento ASTER de resolución espacial de 30 m y se procede a corregir las zonas sin datos por posible interferencia causada por nubosidad o agentes atmosféricos con la ayuda de la herramienta *Fill* de ArcGIS, la cual llena aquellos píxeles que no presentan ninguna información o “ausencia de dato”, luego se hizo una extracción por mosaico a partir de la capa de delimitación departamental del Tolima (formato shapefile). Una vez realizado el DEM del departamento del Tolima se emprende la tarea de convertir el DEM en el mapa de pendientes a través de la herramienta *Slope* de ArcGIS para finalmente reclasificarlo con ayuda de la herramienta *Reclass* de acuerdo con las categorías de amenaza establecidas.

Tabla 20 Porcentajes de categoría de amenaza por relieve.

Calificación	Relieve		
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	Porcentaje
1	Muy baja	7147,95	29,65
2	Baja	1878,20	7,79
3	Moderado	4617,54	19,15
4	Alta	9866,40	40,92
5	Muy alta	597,04	2,48

El departamento del Tolima se caracteriza por presentar un relieve diferencial marcado por la presencia de las cordilleras central y oriental, el cual muestra montañas elevadas, escarpadas, onduladas y quebradas (IGAC, 2018). Por tanto, en general las categorías de amenaza que predominan en la región son “Alta” y “Muy baja”, siendo ambos extremos los que predominan en el territorio.

Factor Histórico

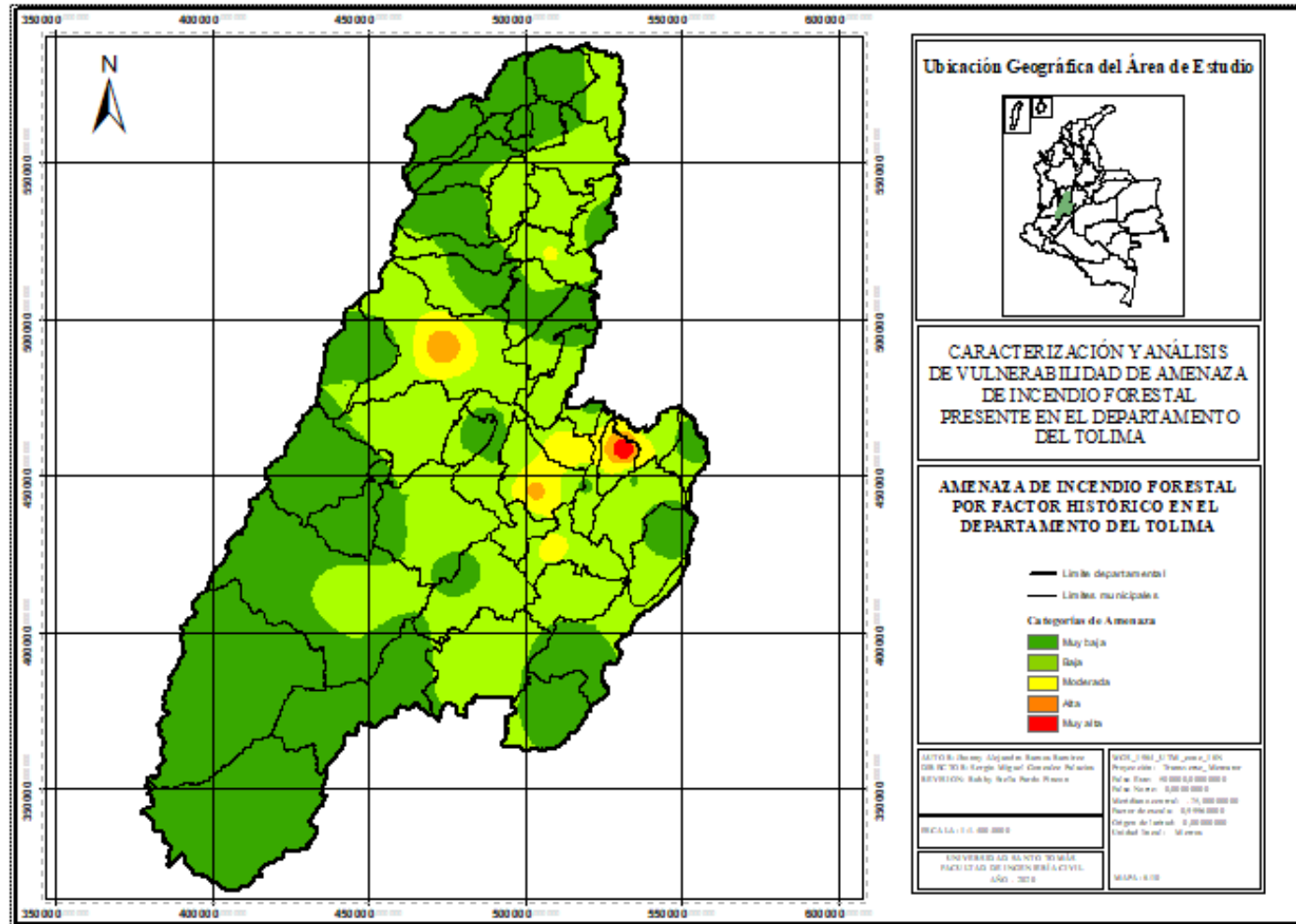


Figura 21 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor histórico.

Para la elaboración del mapa histórico del departamento del Tolima se emprende la tarea de recopilar información referente a reportes históricos de incendios forestales a través de la base de datos de DESINVENTAR. Una vez son recopilados estos datos se estiman los índices de frecuencia correlacionados con la ubicación geográfica de los focos de incendio, una vez son representados en el entorno de ArcGIS y con la ayuda de una tabla de atributos se procede a generar el mapa por factor histórico mediante la herramienta de interpolación *Distancia Inversa Ponderada* (IDW, por sus siglas en ingles), la imagen ráster generada viene en una resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 21 Porcentajes de categoría de amenaza por factor histórico.

Calificación	Histórico		
	Categoría de amenaza	Área (Km2)	Porcentaje
1	Muy baja	12871,61	53,39
2	Baja	10153,08	42,11
3	Moderado	881,63	3,66
4	Alta	172,64	0,72
5	Muy alta	31,33	0,13

El índice de frecuencia deja patente que las zonas con mayor susceptibilidad histórica se concentran en cercanías a los municipios de Armero, Carmen de Apicalá, Chaparral, Guamo, Ibagué, Lérica, Líbano, Melgar, Natagaima, Ortega y Venadillo. En general, más de la mitad del territorio se encuentra en la categoría de amenaza “Muy baja” y “baja”, pero es de tener en cuenta, que el número de reportes ha venido en aumento a través de los años, concentrándose la mayoría en los últimos años, y esto puede deberse a la falta de reportes realizados por ausencia de una buena capacidad administrativa y organizacional en los municipios.

Factor Accesibilidad

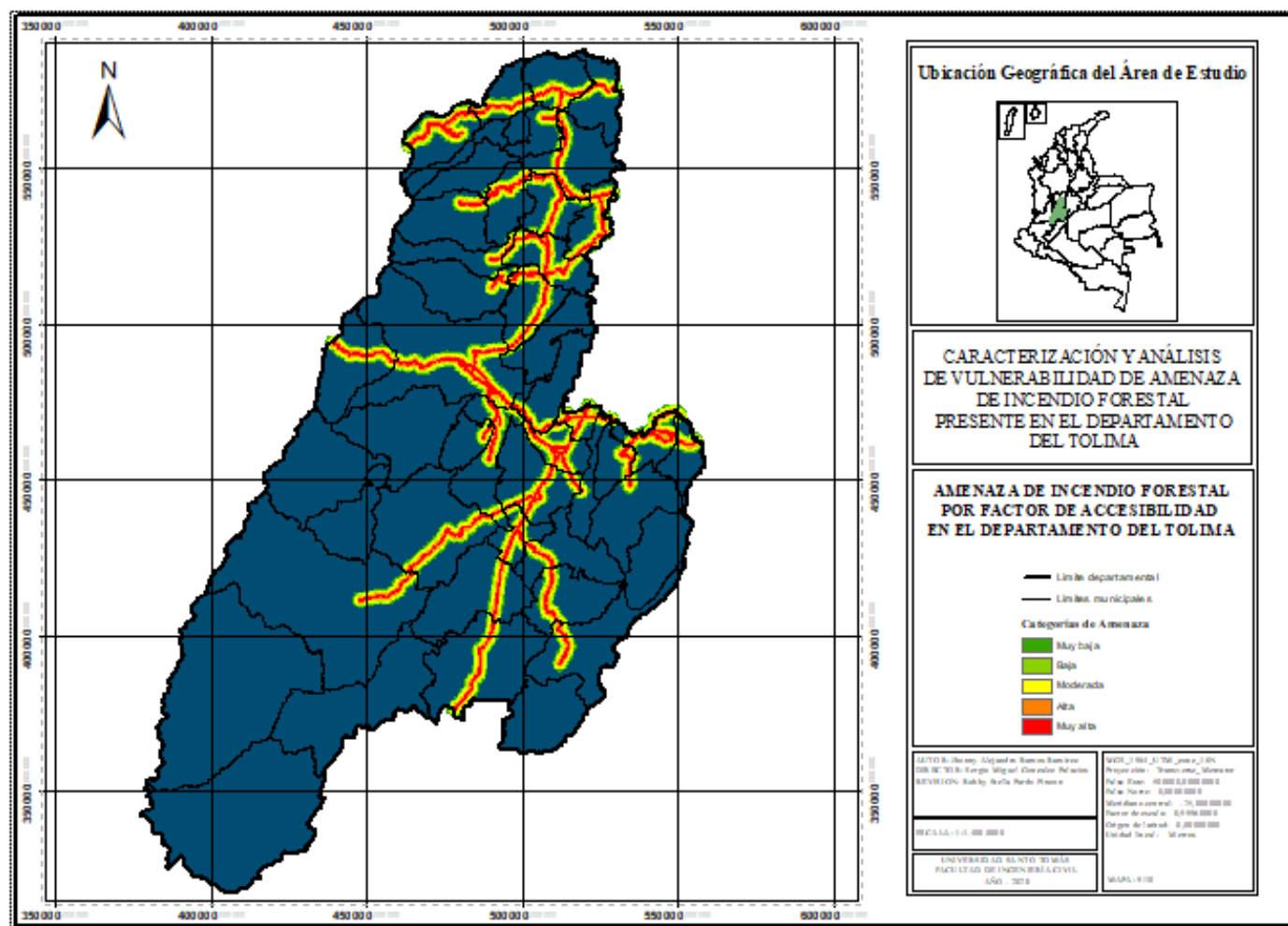


Figura 22 Mapa de distribución de la amenaza por incendios forestales en el departamento del Tolima por factor de accesibilidad.

Este mapa dispone de la capa de vías primarias y secundarias del departamento del Tolima, para generar a través de la herramienta de geoprocésamiento *Buffer* 5 zonas de amenaza en formato shapefile, luego se hace la conversión de este formato a ráster y se realiza una reclasificación según los parámetros de amenaza establecidos por el IDEAM. Esta imagen ráster viene en resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 22 Porcentajes de categoría de amenaza por factor accesibilidad.

Calificación	Accesibilidad		
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	Porcentaje
1	Muy baja	905,04	3,75
2	Baja	815,97	3,38
3	Moderado	776,38	3,22
4	Alta	757,13	3,14
5	Muy alta	739,72	3,07

Al ser zonas adyacentes a los focos de incendios de cobertura vegetal, las zonas más cercanas a las vías primarias y secundarias representan ser de mayor amenaza que aquellas que se encuentran a mayor lejanía por tener mayor acceso a la cobertura vegetal. Son zonas de igual importancia que los demás factores, ya que inciden en la generación de focos de incendio.

Mapa de Amenaza de Incendios Forestales en el Departamento del Tolima

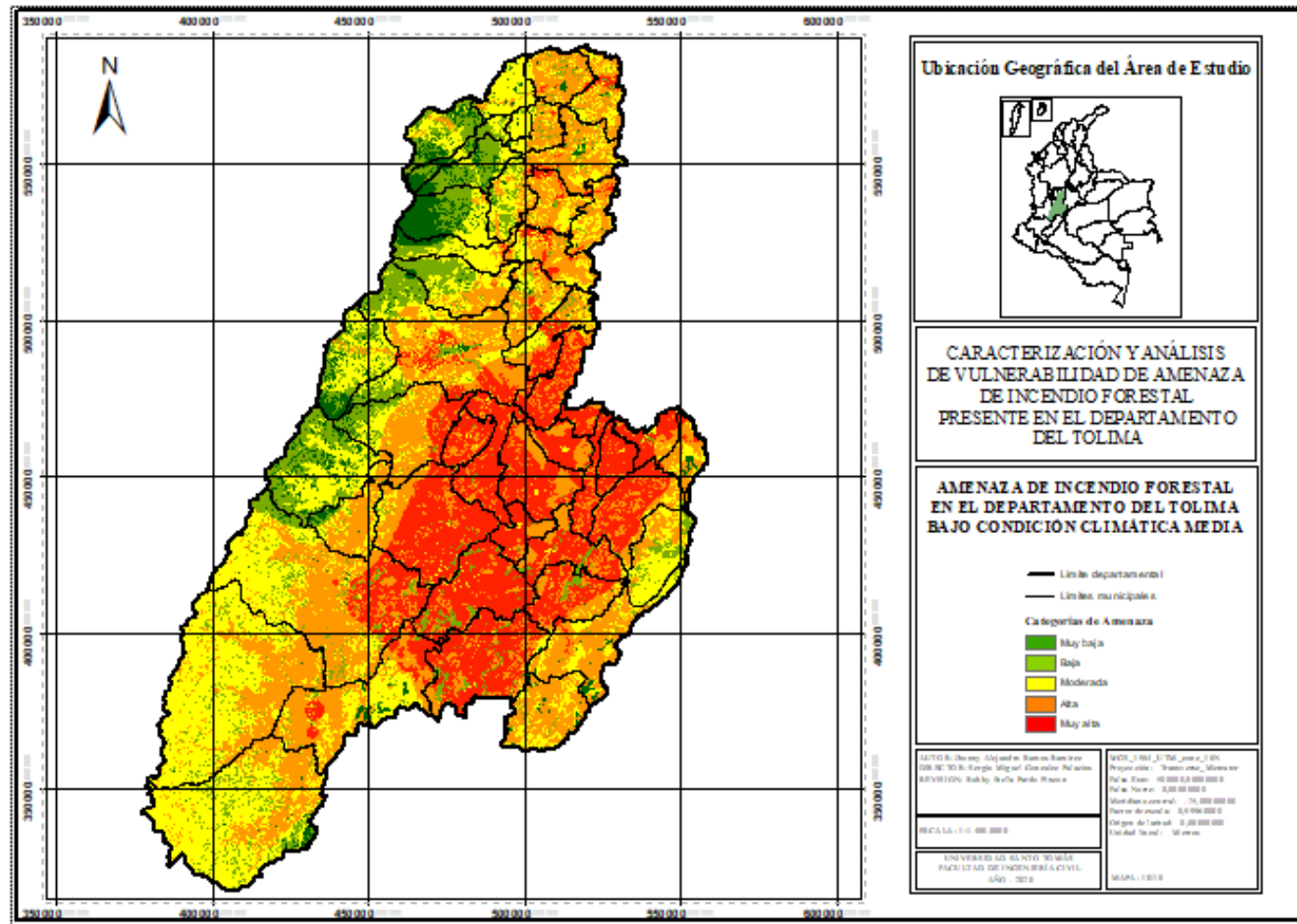


Figura 23 Mapa de la distribución de la amenaza de incendios forestales en el departamento del Tolima.

Es el resultado de la suma ponderada de los mapas de susceptibilidad de amenaza de incendios de cobertura vegetal, factor climático, factor relieve, factor histórico y factor accesibilidad y da como resultado una imagen ráster de resolución espacial de 50 x 50 m y radiométrica de 8 bits.

Tabla 23 Porcentajes de categoría de amenaza de incendios forestales.

Calificación	Amenaza de Incendios		
	Categoría de amenaza	Área (Km ²)	Porcentaje
1	Muy baja	982,57	4,08
2	Baja	2868,95	11,90
3	Moderado	6919,79	28,70
4	Alta	7920,26	32,85
5	Muy alta	5399,33	22,39

Las zonas más críticas a la ocurrencia de incendios forestales se concentran en la zona oriental del departamento, donde se ubican los municipios de Coello, Flandes, San Luis, Valle del San Juan, Espinal, Guamo, Carmen de Apicalá, Saldaña, Coyaima, Natagaima, purificación Suarez, entre otros. Las categorías de amenaza “Moderado” y “Alta” se concentran en casi todo el estrecho occidental y una pequeña parte en el extremo oriental del departamento a excepción de las zonas de mayor altitud, donde se ubican en su mayoría las zonas nivales. La categoría de amenaza “Baja” generalmente se ubica en las zonas de mayor altitud y zonas urbanas.

Posibles Aplicaciones del sensor MODIS en las Etapas Preparatorias del Presente

Ejercicio.

Del análisis del presente ejercicio se desprendieron posibles aplicaciones del sensor MODIS, a continuación, se muestra un esquema de los factores necesarios para la generación del mapa de amenaza de incendios de cobertura vegetal y el análisis de los posibles usos aplicativos del sensor MODIS en algunas de las etapas previas a la elaboración del mapa de amenaza.

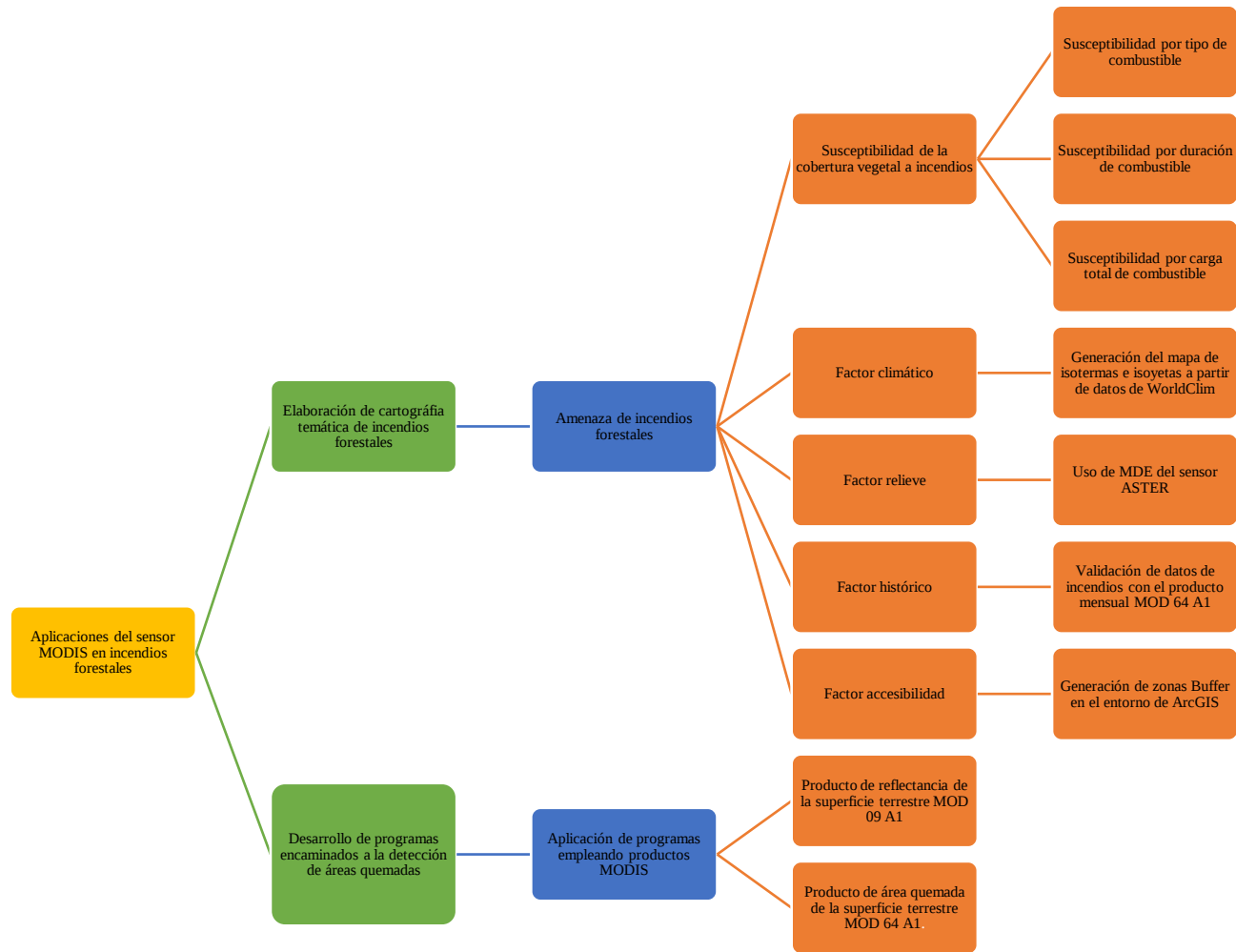


Figura 24 Esquema de los factores que integran el mapa de amenaza de incendios y el análisis de las aplicaciones de los productos MODIS en las etapas para su generación.

Como se observa en la figura (24), la elaboración del mapeo de zonificación de incendios forestales integra variedad de factores que inciden en su detonación, a partir del ejercicio práctico realizado se llegó a la conclusión que algunos procesos pueden culminarse o por lo menos ser validados con ayuda de productos del sensor MODIS.

También el IDEAM propone el uso de datos del producto de área quemada (MOD 64 A1) como alternativa cuando no se cuente con datos históricos de incendios forestales. Y es que, una de las cualidades más resaltables del sensor MODIS es la denominada resolución temporal, este aspecto es uno de los más destacados y va dirigido al estudio dinámico de los fenómenos de interés. Es un producto que puede ser muy funcional teniendo en cuenta que, la búsqueda de información de carácter histórico constituye una ardua tarea en nuestro territorio, ya que no existe buena difusión de los reportes históricos de incendios forestales. Además, que son reportes poco confiables de los que se desconoce exactamente la ubicación geográfica de los focos de incendio, siendo posible que, los reportes se hayan realizado en zonas adyacentes al foco de incendio. El producto MOD 64 A1 es un producto mensual que lógicamente supone que el usuario tenga conocimiento previo para su manejo. Sin embargo, su implementación puede llegar a dar mejores resultados frente a otras fuentes de información.

Aplicaciones del Sensor MODIS en el Manejo de Incendios Forestales

Producto MCD 64 A1 en la Detección de Áreas Quemadas

El producto de área quemada del MODIS es derivado de las imágenes diarias de reflectancia corregida por la BRDF y de la combinación de MODIS Terra y Aqua. Este producto fue recomendado como alternativa cuando no se cuente con información histórica de los incendios ocurridos en el tiempo, también puede emplearse a modo de verificación de

datos, pero deben ser depurados adecuadamente, el producto presenta una resolución espacial de 500 m y ocho capas de información que indican la fecha del incendio, la calidad de la información (QA), el número de pasos utilizados y la dirección y el tipo de cobertura (Mas , 2011). Además del uso de estos productos ya procesados del sensor MODIS, también se pueden impulsar programas empleando productos MODIS a través del monitoreo de la cobertura vegetal y la detección de áreas quemadas, como es el caso de la INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) de Brasil con sus programas DETER Y DETEQ.

El producto MCD 64 A1 es la versión actual del MCD 45 que ahora se encuentra en desuso, este producto aprovecha los cambios espectrales ocasionados en el suelo por los incendios, ya que, estos generan depósitos de carbón, cambios en la cobertura y estructura de la vegetación. También detecta la fecha aproximada de quemado a una resolución espacial de 500 m al localizar la ocurrencia de cambios rápidos en los datos diarios de series temporales de reflectancia de superficie. El algoritmo mapea la extensión espacial de incendios recientes y no de incendios que ocurrieron en temporadas o años anteriores (MODIS, 2020).

Producto MOD 09 A1

Es un producto que permite ser explotado de diferentes formas y aplicarlo a incendios forestales no es la excepción. El MOD 09 es la reflectancia corregida de la superficie, lo que implica mayor ventaja de trabajar con estos productos frente a otros derivados de otros sensores, tiene que ver no solo con la capacidad hiper espectral del MODIS sino también con el insumo ya procesado, caso aparte del sensor OLI/TIRS del Landsat cuya corrección atmosférica constituye una tarea más para la elaboración del producto final. Sin embargo, suele emplearse sensores de mejor resolución espacial como objeto de validación de los datos

generados. Además de los productos ya generados del MODIS no se puede obviar su temporalidad, esta cualidad constituye sin lugar a duda una herramienta poderosa para el seguimiento de fenómenos dinámicos en el tiempo (MODIS, 2020).

El INPE de Brasil desarrolló dos programas dedicados específicamente a la detección de áreas deforestadas en tiempo real DETER y de áreas quemadas DETEQ, cuya operatividad permitió una disminución en el área deforestada en la Amazonia legal (AML), durante el periodo 2004-2005 (8856 Km²) y para el periodo de 2005-2006 (5035 Km²) (François, 2011). Para la realización de estos dos programas el insumo principal fueron los productos MODIS de diferentes fechas, a partir de estos datos se puso en marcha una etapa clasificatoria que consistió en la selección de las imágenes de mejor calidad para crear un mosaico libre de nubes. El procesamiento de datos MODIS se realizó con la ayuda de programas de la NASA, se empleó una combinación de bandas: banda 1 (rojo) y 2 (infrarrojo cercano) y la banda 6 (infrarrojo medio) con la finalidad de hacer un análisis preliminar de la presencia de nubes. También se utilizó un MDE con la finalidad de reducir las distorsiones producidas por el terreno, luego en el procedimiento de clasificación se empleó el modelo lineal de mezcla espectral que se usó para la segmentación de las imágenes (fracción suelo-DETER y la fracción sombra DETEQ), en la clasificación no supervisada por regiones.

Conclusiones

La teledetección puede explotarse de muchas maneras y sirve de apoyo en muchos campos de estudio, es una herramienta funcional frente a diversos aspectos ambientales.

El uso del sensor MODIS en la elaboración de cartografía está restringido a algunas escalas que dependen de la mínima unidad cartografiable (MUC).

La nubosidad característica de la región dificulta el análisis de las coberturas de interés medio ambiental para este caso, ya que la adquisición de información territorial se realizó a partir de un sensor pasivo cuya penetración atmosférica es limitada por su resolución espectral.

No existe una buena difusión de información respecto al procesamiento de los productos MODIS en el país, asimismo respecto a todo lo relacionado en tecnología espacial, ya que existe información correspondiente al tema, pero no de fuentes nacionales y no existe un interés en promover programas que impulsen el desarrollo de la tecnología espacial y todo lo que involucra su estudio.

Falta un mayor desarrollo de programas encaminados al manejo de desastres, y sistemas que integren información necesaria para establecer las directrices pertinentes, dado que durante la búsqueda de información de los reportes históricos de eventos de desastre su carencia dificultó el análisis para la determinación del evento de mayor recurrencia.

El tamaño de los píxeles de las imágenes correspondientes a cada factor (imagen ráster) que incide en la generación de incendios conviene sea del mismo tamaño para realizar la suma ponderada de mapas con ayuda de la herramienta álgebra de mapas de ArcGIS, en

caso de que se cuente con imágenes de diferente resolución espacial la imagen resultante por defecto conserva la resolución espacial de la imagen de menor resolución, es decir, una operación de álgebra de mapas que involucra dos imágenes, una de resolución espacial de 30 x 30 m y otra de 15 x 15 m da como resultado una imagen ráster de resolución espacial 30 x 30 m.

La búsqueda de información correspondiente a gestión del riesgo es compleja en parte porque no hay claridad conforme a los roles de las instituciones frente al conocimiento de los reportes de desastres de origen natural y antrópico, ya que para adquirir información correspondiente a datos históricos se tuvo que remitir a fuentes no nacionales como la base de datos de DESINVENTAR, la cual opera en toda América del sur.

Recomendaciones

Se recomienda a las entidades nacionales y municipales promover y realizar programas dedicados a los reportes de eventos de desastre que recopilen información histórica de los eventos que a su vez permitan realizar estudios para su mitigación y control.

Considerando que los incendios forestales no son el único factor que aqueja el territorio del Tolima y que la presencia de movimientos en masa y las inundaciones se manifiestan igualmente importantes, la información de zonificación de eventos de desastre puede servir de apoyo para establecer aquellas medidas y directrices encaminadas a la mitigación del riesgo de eventos de desastre. De la misma forma, al ingeniero civil le permite determinar y establecer las obras de contención necesarias para su contención y mitigación.

Queda camino por recorrer en materia de teledetección en el país, asimismo, es necesario promover el desarrollo de la tecnología espacial para adquirir un mayor conocimiento de la teledetección.

Es recomendable procesar imágenes en programas dedicados específicamente para esa función como ENVI, ya que en el entorno ArcGIS algunas veces el proceso es tardado y poco productivo.

Sería interesante poner en marcha Sistemas de Detección de Áreas Quemadas, que integren información histórica de incendios forestales que, asimismo, se apoyen del insumo MCD 64 del sensor MODIS.

REFERENCIAS

- Aabouch, K. (2018). *Nuevos Productos Humedad de Nivel L4 de SMOS*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Arozarena Villar , A., Otero Pastor, I., & Esquerra Canalejo, A. (2016). *Sistemas de Captura de la Información "Fotogrametría y Teledetección"*. Madrid: Dextra Editorial, S. L.
- Arozarena, A., Otero, I., & Ezquerra, A. (2016). *Sistemas de captura de la información "Fotogrametría y teledetección"*. Madrid: Dextra editorial S.L. .
- Belward , A. (1991). *Spectral Characteristics of vegetation, Soil and Water in the Visible, Near-Infrared and Middle-Infrared Wavelengths, en Remote Sensing and GIS for Resource Management in Developing Countries*. (A. Belward , & C. Valenzuela, Edits.) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental*. Barcelona: Editorial Planeta, S. A.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental "la observación de la Tierra desde el espacio"*. Barcelona: Editorial Planeta, S. A. .
- Colwell, J. (1974). *Vegetation canopy reflectance, Remote Sensing of Environment*.
- Comité Nacional para el conocimiento del Riesgo-CNCRD . (2017). *Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenomenos Amenazantes*. Bogotá: UNGRD.
- Cruden , D. M., & Varnes, D. J. (1966). *Landslide Types and Processes In Special Report 247 Landslides Investigation and Mitigation*. . Washington: Turner, A. K. and Schuster R. L. (eds).

- Cruden, D. M. (1991). *A Simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology.*
- Curran , P., Foody, G., Kondratyev, K., Kozoderov, W., & Fedchenko, P. (1990). *Remote Sensing of Soils and Vegetation in the USSR.* Londres: Taylor & Francis .
- DANE. (30 de Agosto de 2019). *Censo Nacional de Población y Vivienda.* Obtenido de <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/>
- DESINVENTAR. (1994). *DESINVENTAR.org.* Obtenido de Sistema de Inventario de efectos de desastres : <https://www.desinventar.org/es/>
- François, J. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio.* México. D. F.: Nacional de Ecología: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Gates , D., Keegan, H., Schleter , J., & Weiner , V. (1965). *Spectral properties of plants.* Applied Optics.
- Gausman, H. (1977). *Reflectance of leaf components, Remote Sensing of Environment.*
- Guyot , G., Guyon, D., & Riou, J. (1989). *Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review.* Geocarto International.
- Hernández Barrios, H. (2019). *"LO QUE USTED DEBE SABER SOBRE INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL".* Bogotá: UNGRD.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis , M., & Hutchinson, J. N. (2001). *Review of the classification of landslide of the flow type. Environmental and Engineering Geoscience.*

- Hutchinson, J. N. (1988). *General Report Morphological and Geotechnical Parameters of Landslide in relation to Geology and Hydrogeology. Proccedings, Fifth International Symposium of Landslide*. Balkema: Rotterdam: C. Bonnard, ed.
- IDEAM. (2011). *PROTOCOLO PARA LA REALIZACIÓN DE MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL ESCALA 1:100000*. Bogotá, D. C.
- IDEAM-UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia*. Bogotá. D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM; Universidad Nacional de Colombia - UNAL .
- IGAC. (2007). *Fundamentos físicos de la teledetección*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia .
- IGAC. (2018). *Tolima Características Geográficas*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazi.
- Jacquemoud , S. (1990). *PROSPECT: a model to leaf optical properties spectral, Remote Sensing of Environment*.
- Labrandero, J. (1978). *Aplicación de métodos digitales al reconocimiento de suelos mediante sensores remotos, Departamento de Geología*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Lusch , R. (1989). *Spectral characteristics of land surfaces* (Vol. en Current Trends in Remote carto International Centre). Hong Kong: Geocarto International Centre.
- Mas , J. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio*. México.

MODIS. (2020). *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*. Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

Montero Olarte , J. (2017). *Clasificación de Movimientos en Masa y su Distribución en terrenos Geológicos de Colombia*. (L. E. Vásquez, Ed.) Bogotá. D. C.

NASA . (25 de January de 2020). *TERRA*. Obtenido de The EOS Flagship: 2020

NASA. (28 de August de 2014). *Visible Earth*. Obtenido de A catalog of NASA images and animations of our home planet : <https://visibleearth.nasa.gov/images/84247/hurricane-cristobal>

NASA. (10 de October de 2019). *NASA's Earth Observing System*. Obtenido de Project Science Office: <https://eospso.nasa.gov/content/nasas-earth-observing-system-project-science-office>

NASA. (7 de January de 2020). *Aqua*. Obtenido de Project Science: <https://aqua.nasa.gov/>

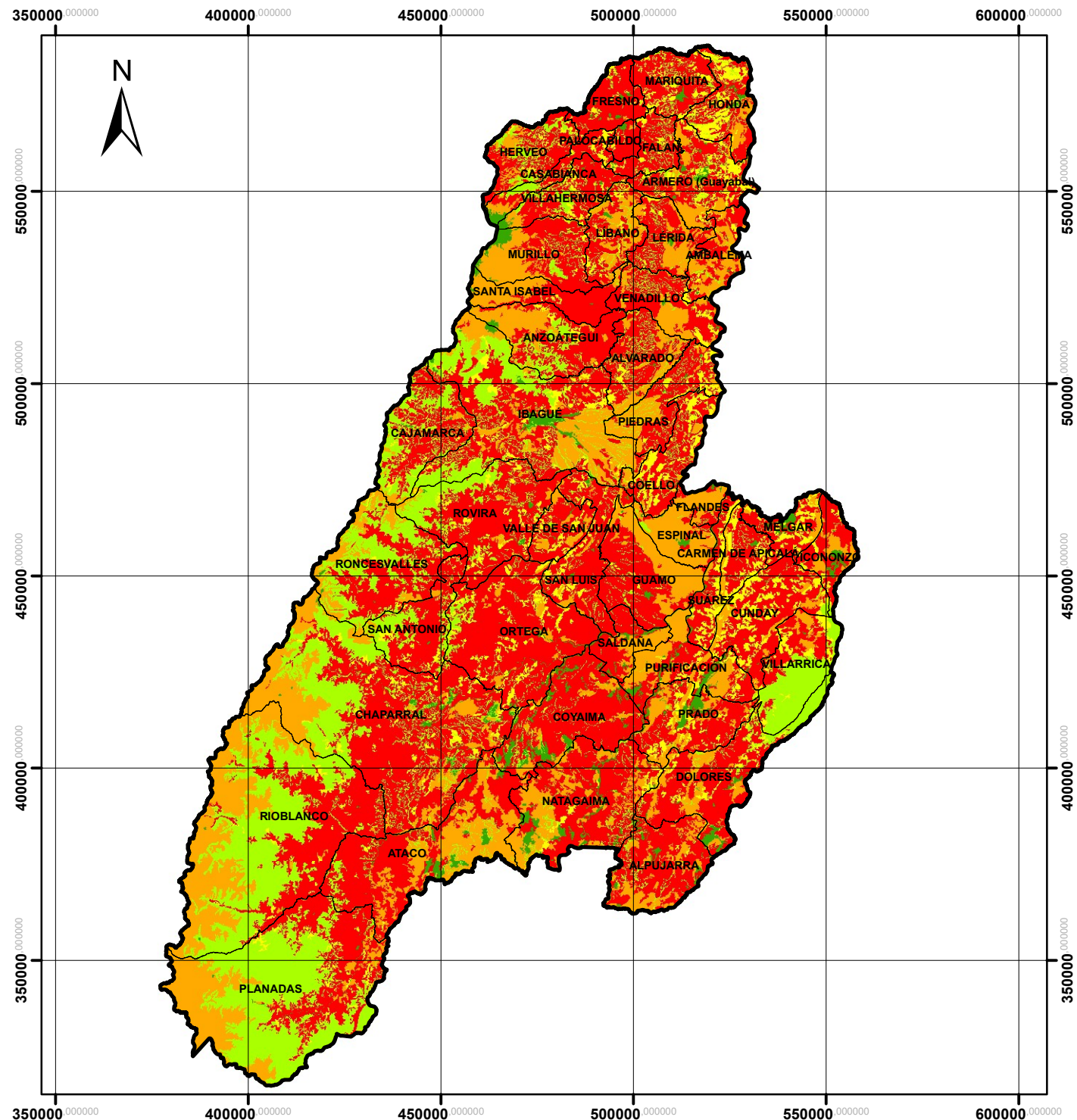
Pabón, J., & Dorado, J. (2008). *Intraseasonal Variability of Rainfall Over Northern South America and Caribbean Region Earth*.

Parkinson , C., Ward, A., & King , M. (2006). *Earth Science Reference Handbook A Guide to NASA s Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missiions* . Washington, D. C.: National Aeronautics and Space Administration.

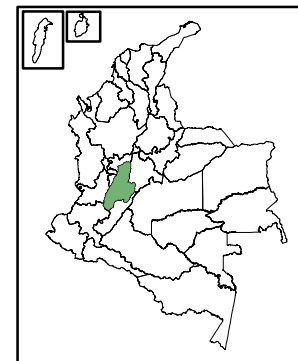
Pérez Gutiérrez, C., & Muñoz Nieto, Á. I. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*. Carlos Pérez.

Robinson, I. (1985). *Satellite Oceanography. An introduction for Oceanographers and Remote Sensing Scientist* . Chichester: John Wiley & Sons .

- Sancha, A. (20 de Octubre de 2016). *Ariadna Sancha CTMA* . Obtenido de Blog sobre los contenidos de la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (CTMA).: <http://ariadnasancha.blogspot.com/2016/10/la-teledeteccion.html>
- Sellers , P. (1989). *Vegetation-Canopy Spectral reflectance and Biophysical Processes, en Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. (G. Asrar, Ed.) Nueva York .
- Sharpe , C. S. (1938). *Landslide and Related Phenomena: Columbia University Press*. New York.
- Sobrino, J. (2000). *Teledetección* . Valencia : Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia .
- Steinhoff, D., Monaghan, A., & Clark, M. (2014). *Projected impact of twenty first century ENSO changes of rainfall over central America and northwest south America from CMIPS AOGCMs*. Climate Dynamics.
- Swain, P., & Davis, S. (1978). *Remote sensing, the quantitative approach*. McGraw-Hill.
- Tippler, P. A. (1994). *"Física"*. ed. Reverté.
- UNGRD. (2018). *Impactos de los eventos recurrentes y sus causas en Colombia*. Bogotá. D. C: UNGRD.
- USGS. (14 de Enero de 2020). *USGS-Science for a Changing World*. Obtenido de EarthExplorer - Home : <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- WMO. (2002). *Anual report of the World Meteorological Organization*. Organization Meteorológica Mundial.



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR TIPO DE COMBUSTIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

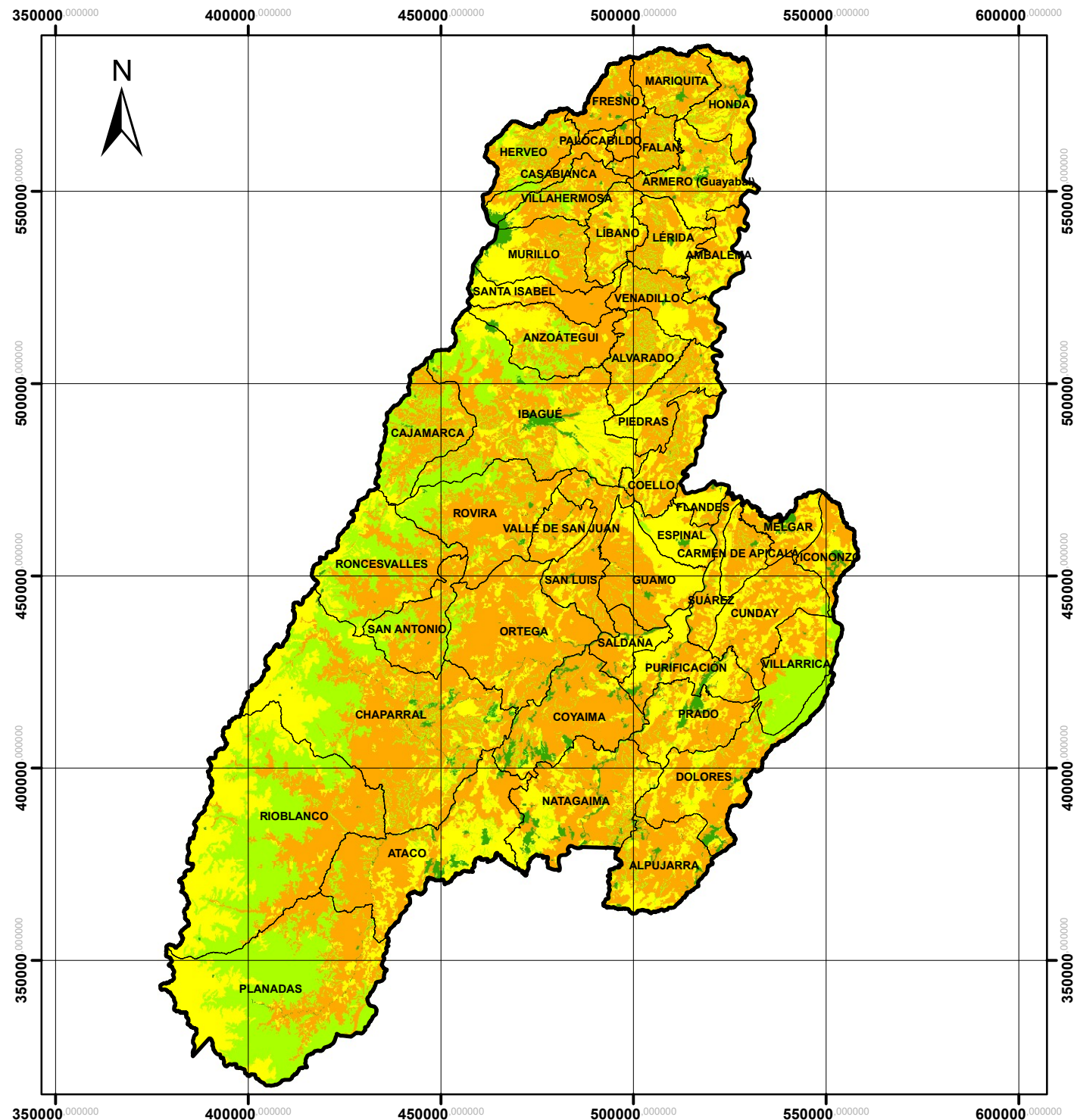
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

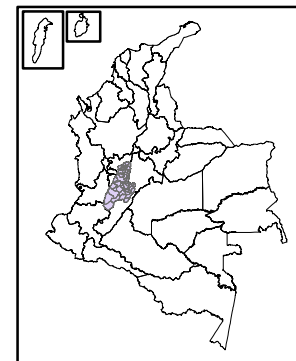
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 1/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR DURACIÓN DE COMBUSTIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

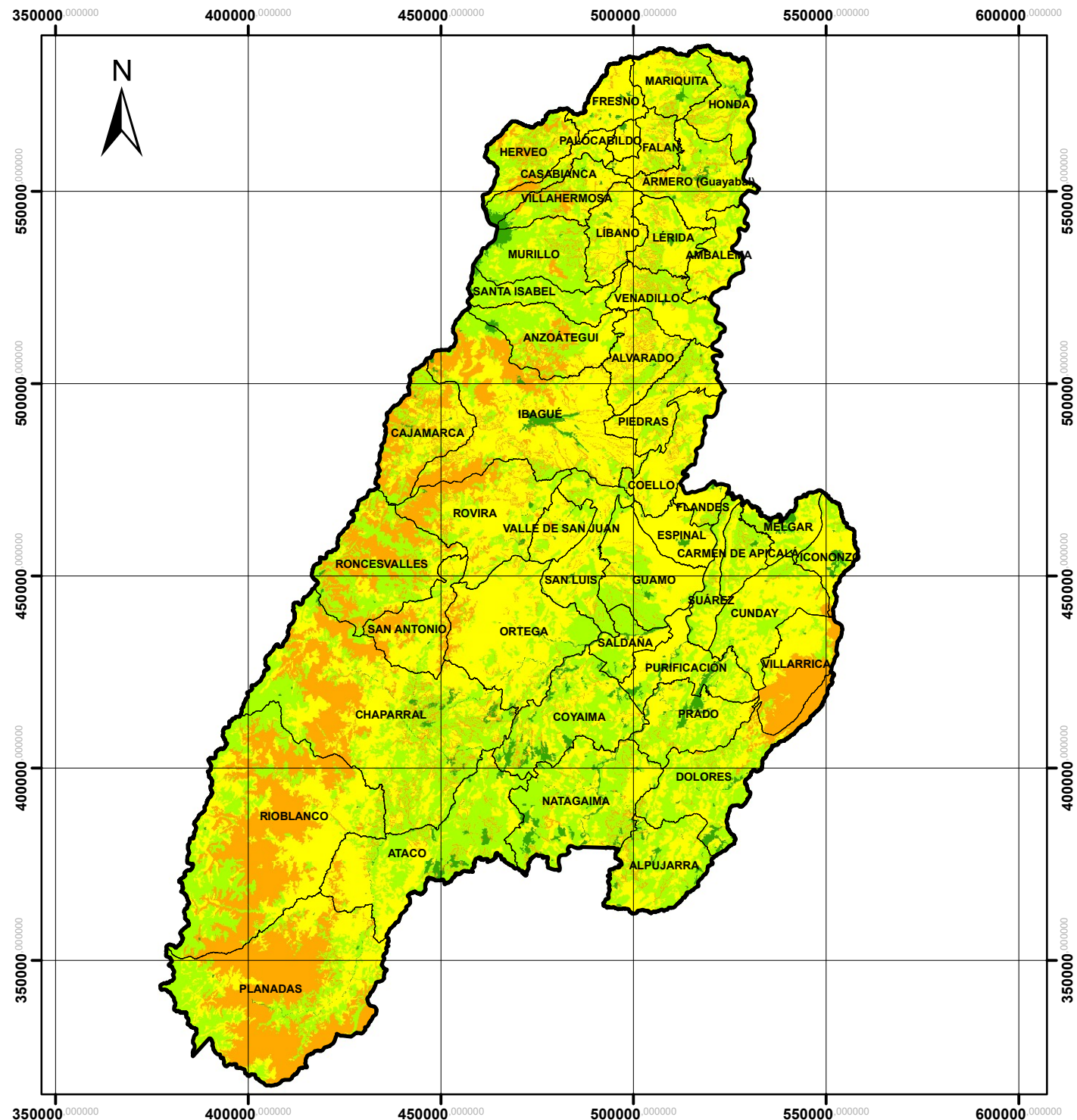
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

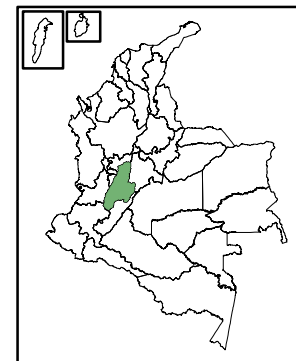
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 2/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR CARGA DE COMBUSTIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

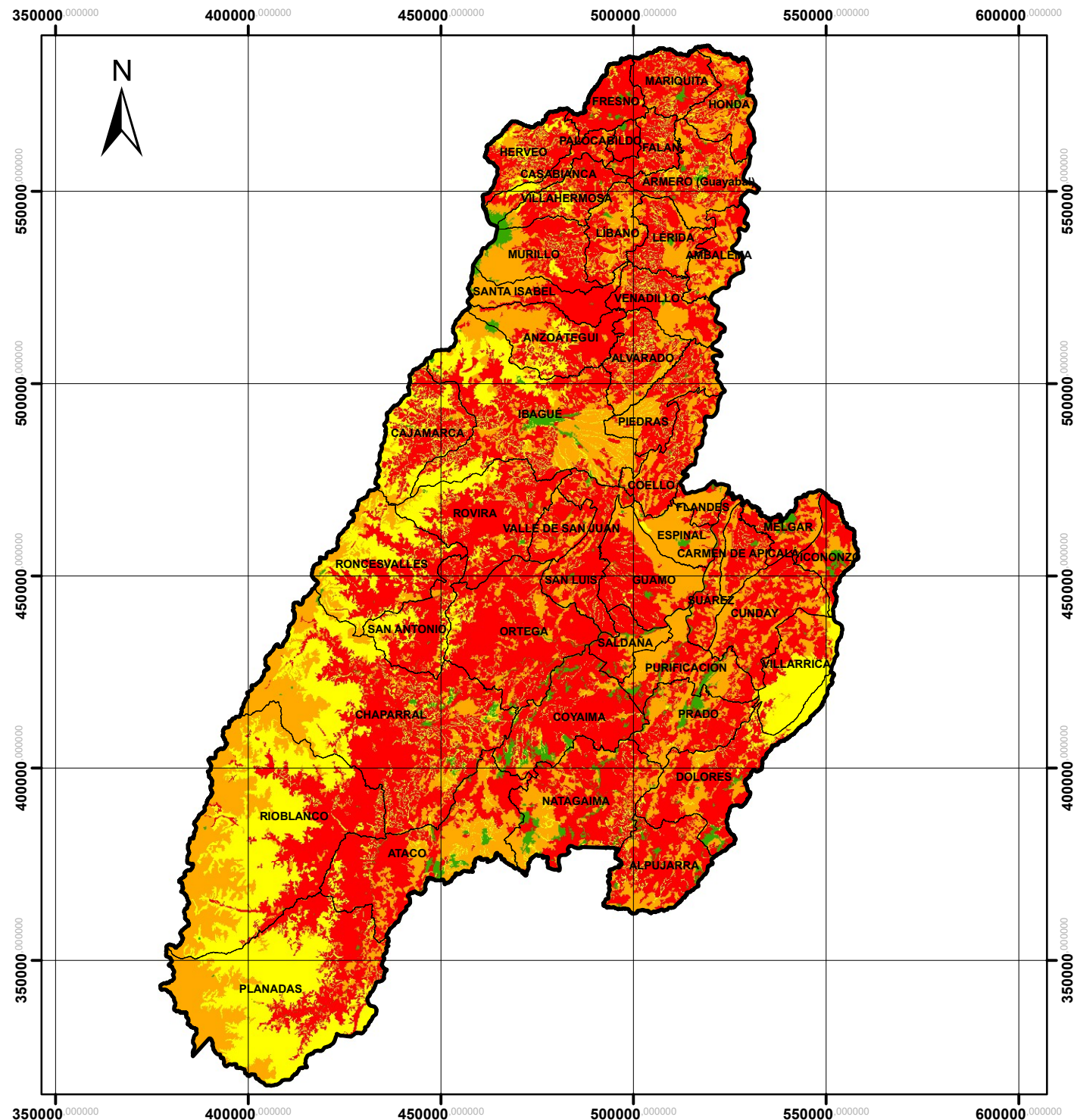
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

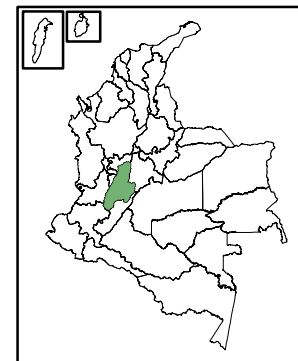
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 3/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

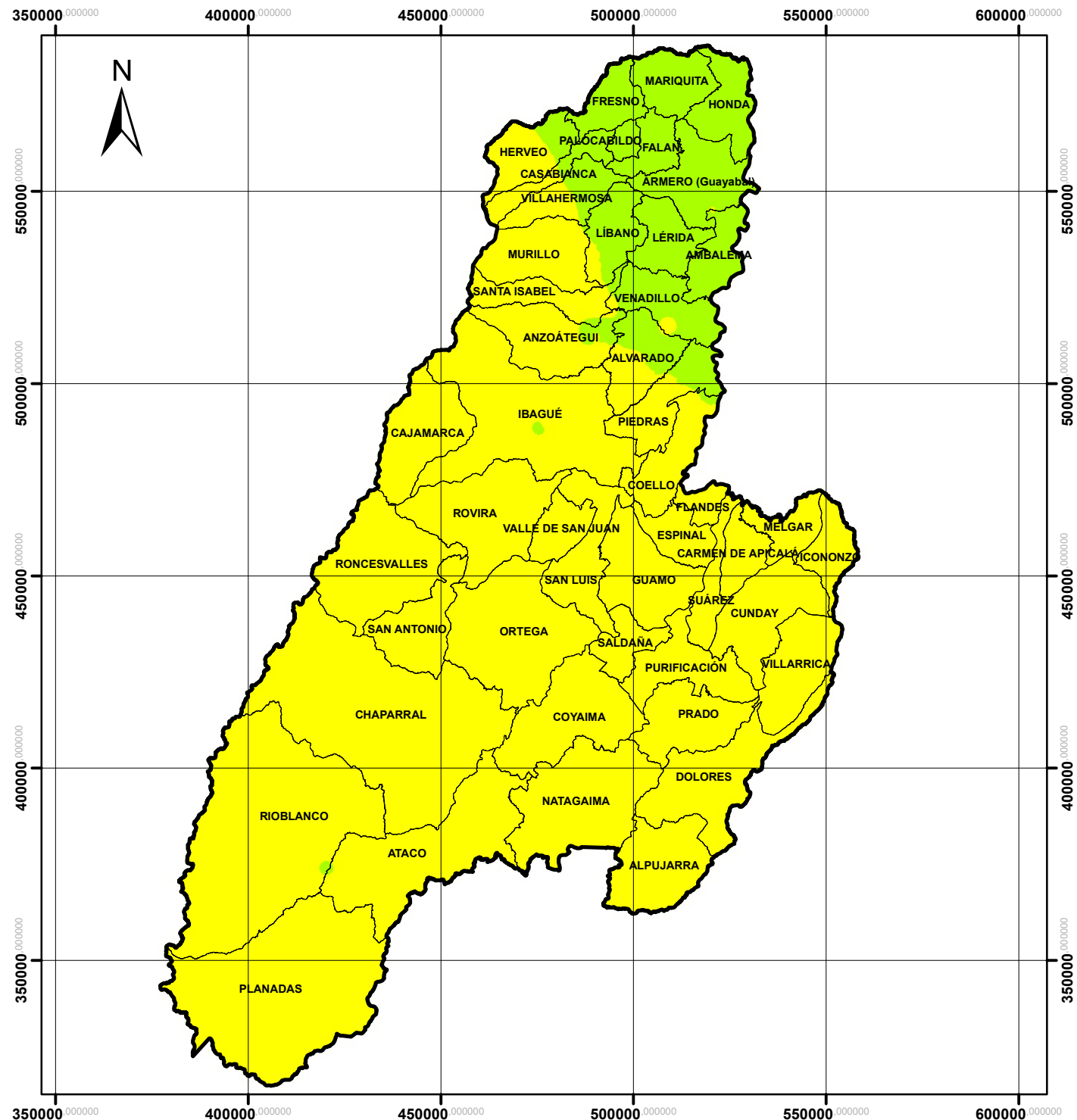
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

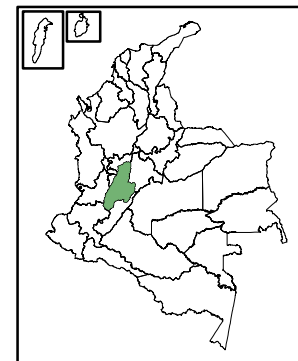
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 4/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR FACTOR CLIMÁTICO DE PRECIPITACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

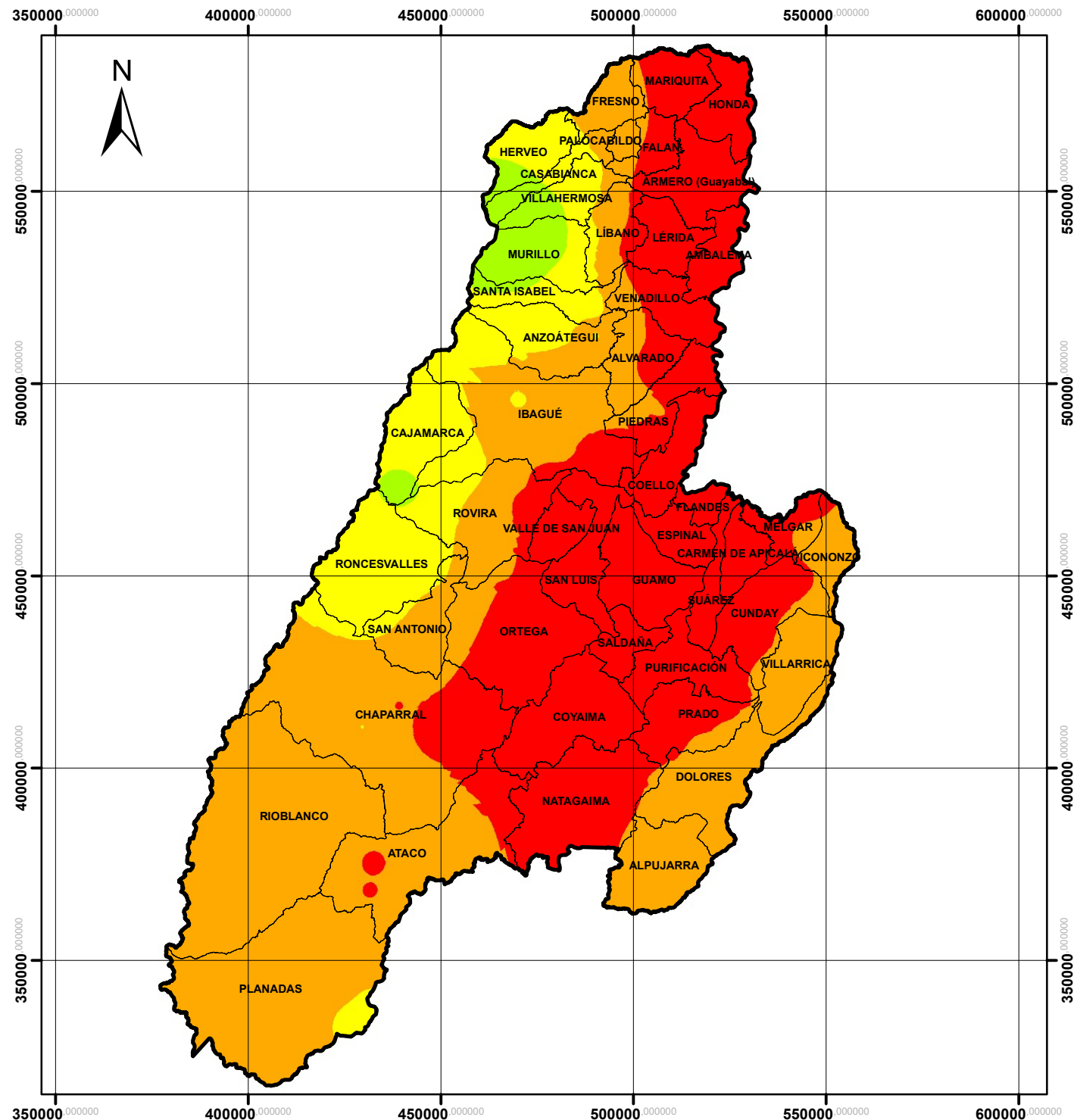
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000,00000000
Falso Norte: 0,00000000
Meridiano central: -75,00000000
Factor de escala: 0,99960000
Origen de latitud: 0,00000000
Unidad lineal: Metros

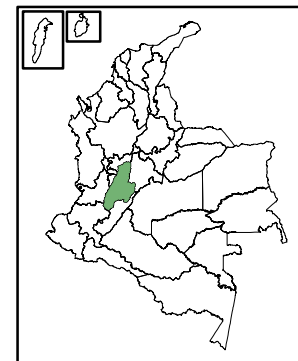
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 5/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR FACTOR CLIMÁTICO DE TEMPERATURA EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

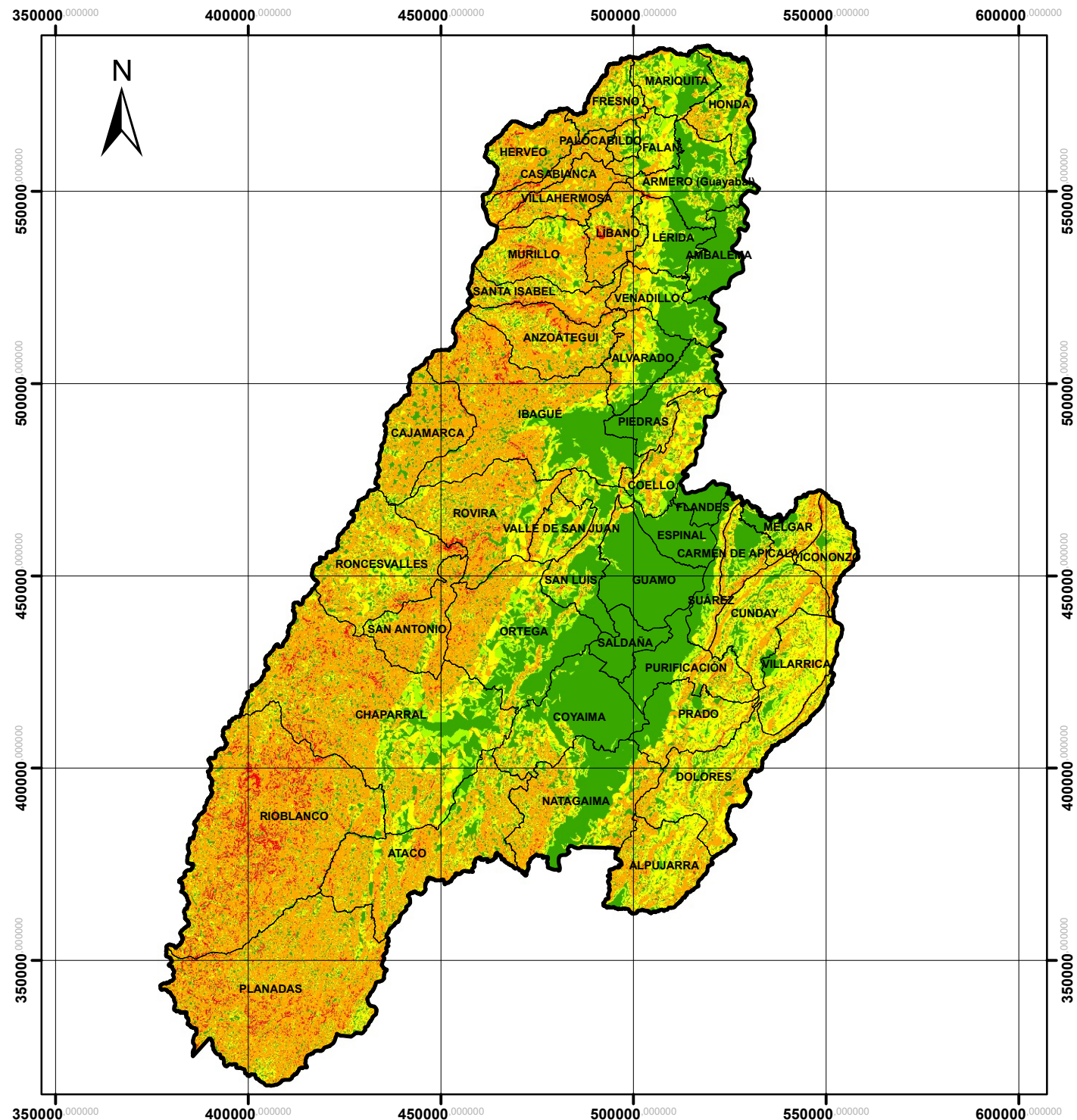
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

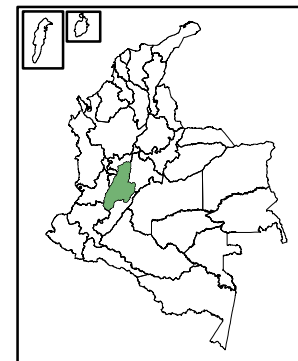
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 6/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR FACTOR RELIEVE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

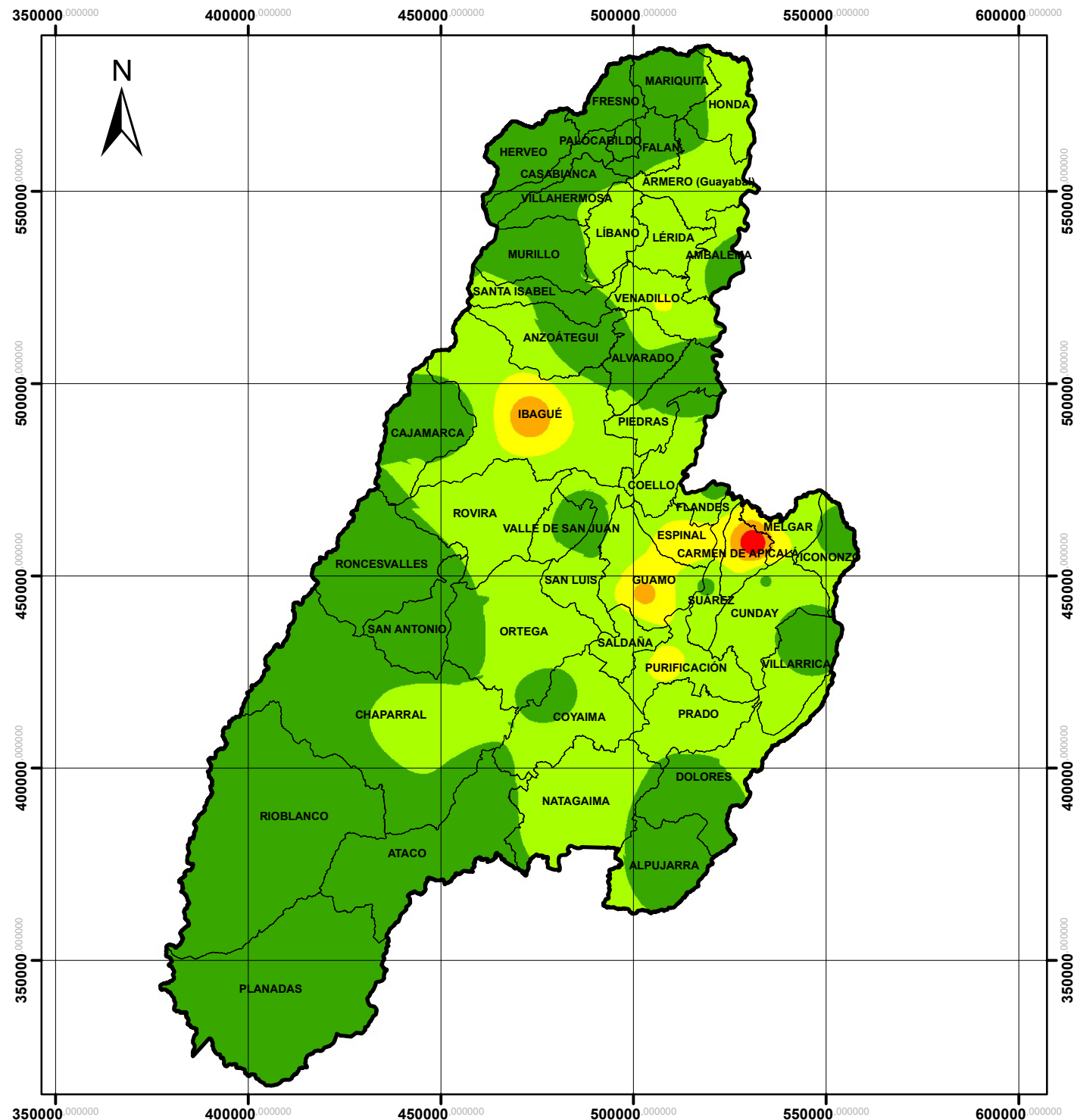
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

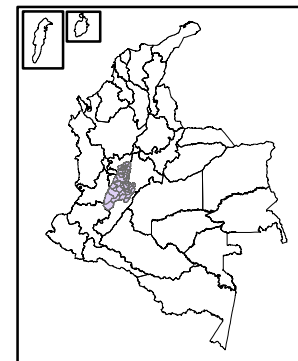
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 7/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR FACTOR HISTÓRICO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

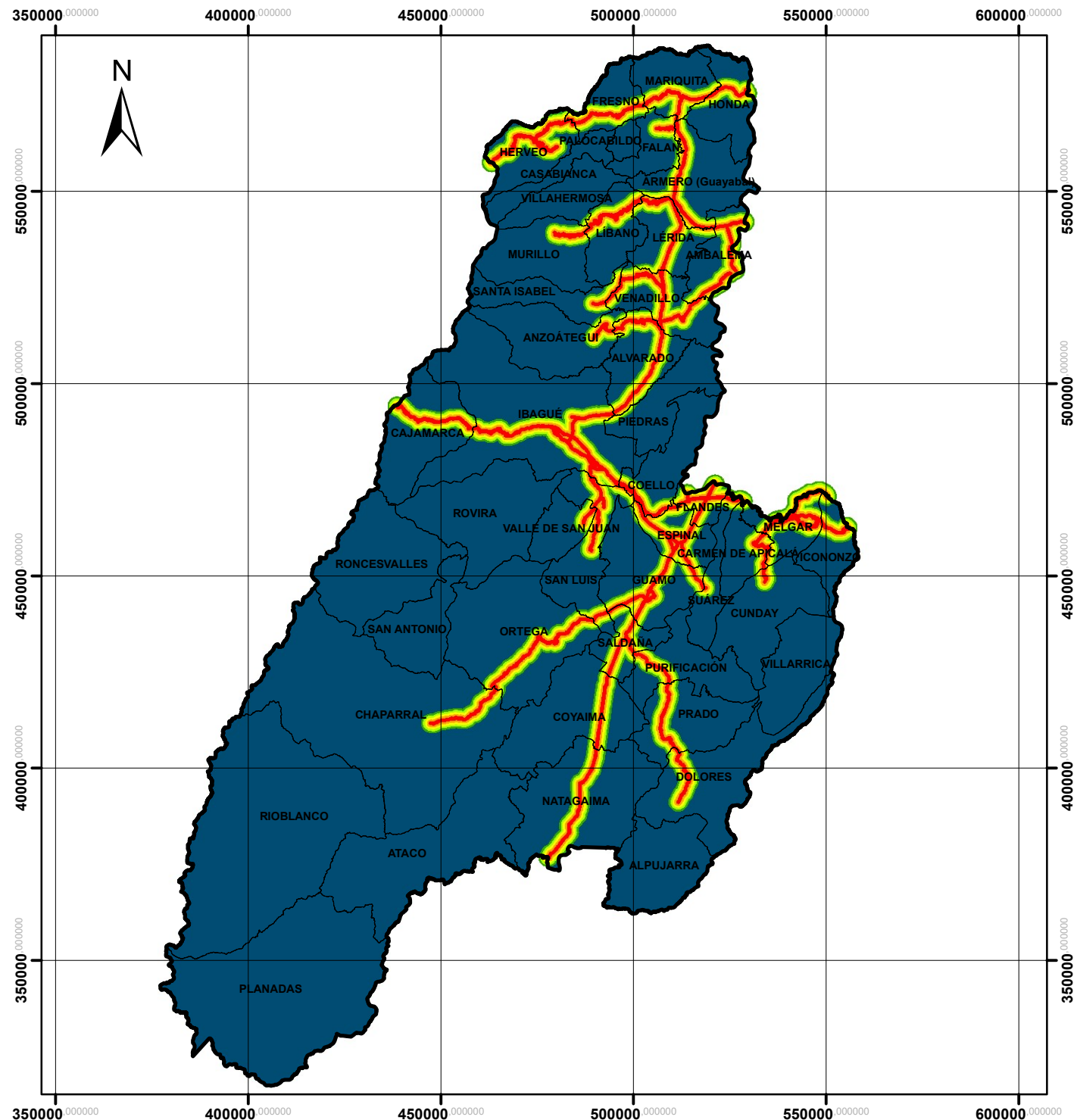
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

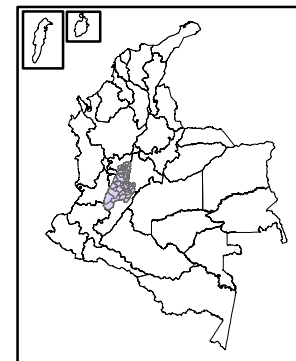
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 8/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL POR FACTOR DE ACCESIBILIDAD EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

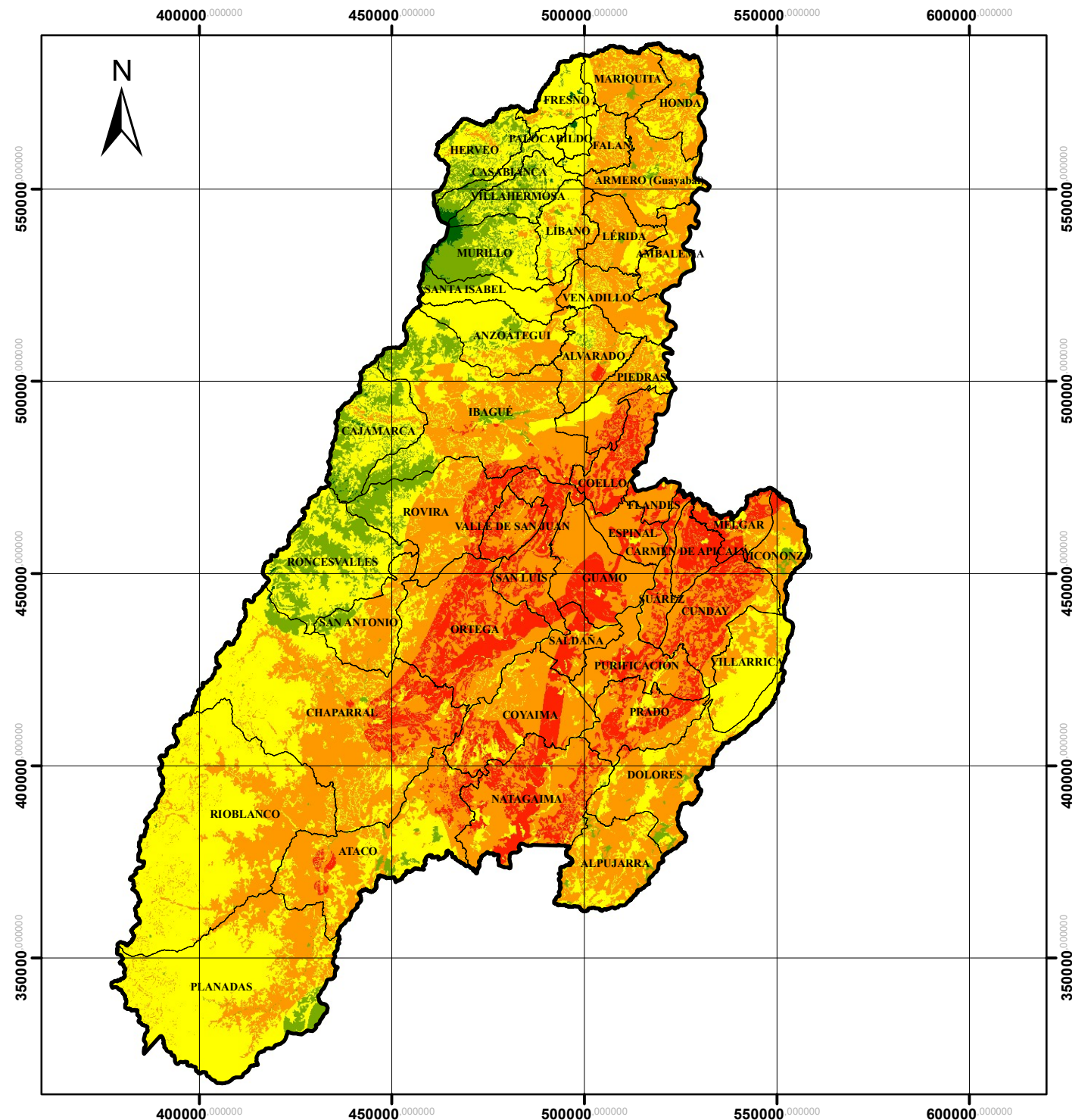
AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

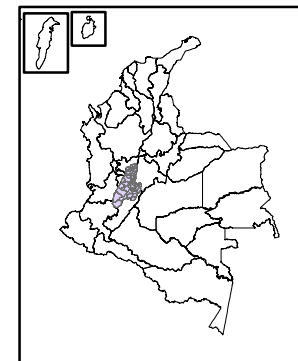
ESCALA: 1:1.400.000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 9/10



Ubicación Geográfica del Área de Estudio



CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL PRESENTE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

AMENAZA DE INCENDIO FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA BAJO CONDICIÓN CLIMÁTICA MEDIA

- Limite departamental
- Limites municipales

Categorías de Amenaza

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

AUTOR: Jhonny Alejandro Ramos Ramirez
DIRECTOR: Sergio Miguel Gonzalez Palacios
REVISION: Rubby Stella Pardo Pinzon

WGS_1984_UTM_zone_18N
Proyección: Transverse_Mercator
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Meridiano central: -75.00000000
Factor de escala: 0.99960000
Origen de latitud: 0.00000000
Unidad lineal: Metros

ESCALA: 1:1.400.0000

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
AÑO - 2020

MAPA: 10/10