	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 7

16.

FECHA	11/12/2020.
--------------	-------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Girardot

UNIDAD REGIONAL	GIRARDOT
------------------------	----------

TIPO DE DOCUMENTO	TRABAJO DE GRADO
--------------------------	------------------

FACULTAD	CIENCIAS AGROPECUARIAS
-----------------	---------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	PREGRADO
---	----------

PROGRAMA ACADÉMICO	INGENIERIA AMBIENTAL
---------------------------	----------------------

El Autor(Es):


APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Arias Forero	Anggie Melissa	1069765894
Ortiz Sanchez	Johana Valenina	1106898797

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
CRUZ CUELLAR	HECTOR FABIO

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 7

TÍTULO DEL DOCUMENTO

Severidad De Incendio Forestal En El Cerro Las Mercedes Ubicado En Carmen De Apicalá Y Suarez, Tolima..

SUBTÍTULO


(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
2020	31

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. 1.Incendios Forestales	Forest Fires
2. 2.NDVI	NDVI
3. 3.Cobertura Vegetal	Vegetable cobert
4. 4.Severidad de incendios	Fire severity
5. 5.Área quemada	Burn Ratio
6. 6.Tolima	Tolima


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Los incendios forestales son conocidos de manera global y se pueden presentar en cualquier tipo de ecosistema (Guanacaste et al., 2018). Su permanencia y propagación depende de características singulares del área donde se presente este fenómeno. La severidad de un incendio forestal es comúnmente destacada como una variable crítica en la dinámica de las áreas quemadas. El objetivo de este proyecto es estimar la severidad del incendio forestal del cerro las Mercedes ubicado en Carmen de Apicalá y Suárez, Tolima. Para esto se utiliza imágenes del satélite Sentinel 2, una imagen previa al incendio (28 de enero del 2019) y otra posterior (18 de febrero del 2020), se hace la corrección atmosférica y se procede aplicar los índices de vegetación diferencial normalizada (NDVI), el Normalized Burn Ratio (NBR) y el diferencial del NBR para extraer valores de la zona de estudio. Como resultado se obtuvo aproximadamente 589 hectáreas que afecto el incendio forestal, generando pérdidas de coberturas vegetales en el ecosistema de bosque seco tropical del cerro las mercedes.

ABSTRACT: Forest fires are known globally and can occur in any type of ecosystem (Guanacaste et al., 2018). Its permanence and propagation depends on the unique characteristics of the area where this phenomenon occurs. Wildfire severity is commonly highlighted as a critical variable in the dynamics of burned areas. The objective of this project is to estimate the severity of the forest fire on Las Mercedes hill located in Carmen de Apicalá and Suárez, Tolima. For this, images from the Sentinel 2 satellite are used, an image prior to the fire (January 28, 2019) and a subsequent image (February 18, 2020), the atmospheric correction is made and the normalized differential vegetation indices (NDVI) are applied.), the Normalized Burn Ratio (NBR) and the NBR differential to extract values from the study area. As a result, approximately 589 hectares were obtained that were affected by the forest fire, generating losses of vegetation cover in the tropical dry forest ecosystem of Cerro Las Mercedes.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 4 de 7

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN


Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 5 de 7

autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.


De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI ___ NO X__**.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 6 de 7

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.


c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAF113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 7 de 7

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Severidad De Incendio Forestal En El Cerro Las Mercedes Ubicado En Carmen De Apicalá Y Suarez, Tolima	Texto
2.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Johana Valentina Ortiz Sanchez	
Anggie Melissa Arias Forero	Melissa Arias Forero

2 1.1-51.20

Elaborado por:

Anggie Melissa Arias Forero

Johanna Valentina Ortiz Sanchez

1. TÍTULO

SEVERIDAD DE INCENDIO FORESTAL DEL CERRO LAS MERCEDES UBICADO EN CARMEN DE APICALÁ Y SUAREZ, TOLIMA.

2. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son conocidos de manera global y se pueden presentar en cualquier tipo de ecosistema (Guanacaste et al., 2018). Sin embargo, su permanencia y propagación depende de características singulares del área donde se presente el fenómeno. La severidad de un incendio forestal es comúnmente destacada como una variable crítica en la dinámica de las áreas quemadas. Por su relación directa con la cantidad de biomasa consumida y la recuperación de esta a través del tiempo, estableciendo que la alta severidad está vinculada a tasas de recuperación bajas y tasas de erosión más elevadas (Doerr et al., 2006; moody et al., 2013).

El área del incendio se sitúa en el cerro las mercedes, el cual limita con dos municipios del Tolima; El Carmen de Apicalá y Suarez. Estos municipios se caracterizan por ser unos de los más afectados en la temporada del fenómeno del niño o épocas secas debido a que inicia la presencia de fenómenos naturales como incendios forestales afectando el recurso hídrico, suelo, ecosistemas y el factor social.

Por lo tanto, en este proyecto se identifica una serie de impactos causados por un evento de fenómeno natural, por medio de los sistemas de información geográfica. El objetivo principal es estimar la severidad del incendio, evento que se presentó en el cerro cuchilla de las mercedes. Para esto se utiliza imágenes del satélite Sentinel 2, una imagen previa al incendio (28 de enero

del 2019) y otra posterior (18 de febrero del 2020), se hace la corrección atmosférica y se procede aplicar los índices de vegetación diferencial normalizada (NDVI), el Normalized Burn Ratio (NBR) y el diferencial del NBR para extraer valores de la zona de estudio. Como resultado se obtuvo aproximadamente 589 hectáreas que afectó el incendio forestal, generando pérdidas de coberturas vegetales en el ecosistema de bosque seco tropical del cerro las mercedes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presencia de incendios forestales en Colombia ha sido recurrente especialmente en la región Andina, Orinoquia y Caribe, trayendo consigo efectos importantes a la biodiversidad, al paisaje, al recurso agua, la salud de los ecosistemas y a la salud de las personas principalmente y la economía campesina (Mondragón Leonel et al., 2013). Uno de los ecosistemas más afectados del departamento del Tolima es el bosque seco tropical, se presenta por medio de remanentes y mosaicos, ocupando un 7% de área en este ecosistema en todo el departamento, siendo el principal afectado por este fenómeno. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) expone que estos incendios se presentan en dos épocas secas del año, la primera comprende los meses (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo) y la segunda (Julio-Agosto). Siendo la primera época con mayor presencia de incendios en los municipios del Carmen de Apicalá, y Suarez.

En el plan de desarrollo territorial se expone la problemática que genera el cambio climático, principalmente el fenómeno del niño y la niña. La zona rural ha sido el foco que refleje la problemática, el fenómeno del niño intensificado por el cambio climático global, ha generado escenarios de riesgo por las olas de calor, sequías, altas temperatura y brillo solar, generando incendios forestales, erosión de suelos, desertificación (Consejo municipal para la Gestión del Riesgo, 2012). Así mismo, las anteriores causas ocasionan efectos adversos como la reducción de cobertura vegetal, la pérdida de paisaje y de especies, la presión sobre las subcuencas y ecosistemas estratégicos identificados (fragmentos de bosque seco tropical). Además de lo

anterior, el cerro las mercedes es uno de los lugares susceptibles a este fenómeno ya que, con frecuencia, anualmente se presentan incendios en este lugar. La vereda de Bolivia ocupa parte de este cerro y es una zona susceptible a que se presente este fenómeno en épocas de sequía, especialmente a inicios de año.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Estimar la severidad del incendio forestal del cerro las mercedes en el límite de los municipios Carmen de Apicalá y Suarez

4.2 Objetivos específicos

- Identificar la zona afectada por el incendio forestal a través del análisis de imágenes satelitales.
- Analizar la pérdida y deterioro de la cobertura vegetal por incendios forestales ocurridos en épocas secas, mediante índices de vegetación.
- Categorizar la severidad de los incendios forestales.

5. MARCO NORMATIVO.

Para la elaboración de este proyecto se realizó una investigación digital sobre la normativa aplicable en materia ambiental y gestión del riesgo para incendios forestales. Para lo anterior se tuvo en cuenta las páginas oficiales de las entidades públicas de orden nacional como el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenibles, y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, generando así, la construcción del marco normativo que presenta orden de jerárquico a continuación:

1. Constitución Política de Colombia de 1991 con los artículos (8, 79, 80 y 95) estipulan el derecho a un ambiente sano y la protección de los recursos culturales y naturales. La planificación del manejo y aprovechamiento de los mismos garantizando el desarrollo sostenible, la conservación, restauración o sustitución.
2. Ley 99 del 93 “Por el cual se crea el ministerio de ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales.”
3. Ley 1523 del 2012 “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.”
4. Decreto ley 2811 de 1974 código de los recursos naturales en la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables.
5. Decreto 948 de 1995 se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire.

6. Decreto 2340 de 1997 “Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales.”
7. Conpes 3947 del 2018 Estrategias de actuación y coordinación para reducir las afectaciones ante la eventual ocurrencia de un fenómeno de variabilidad climática.

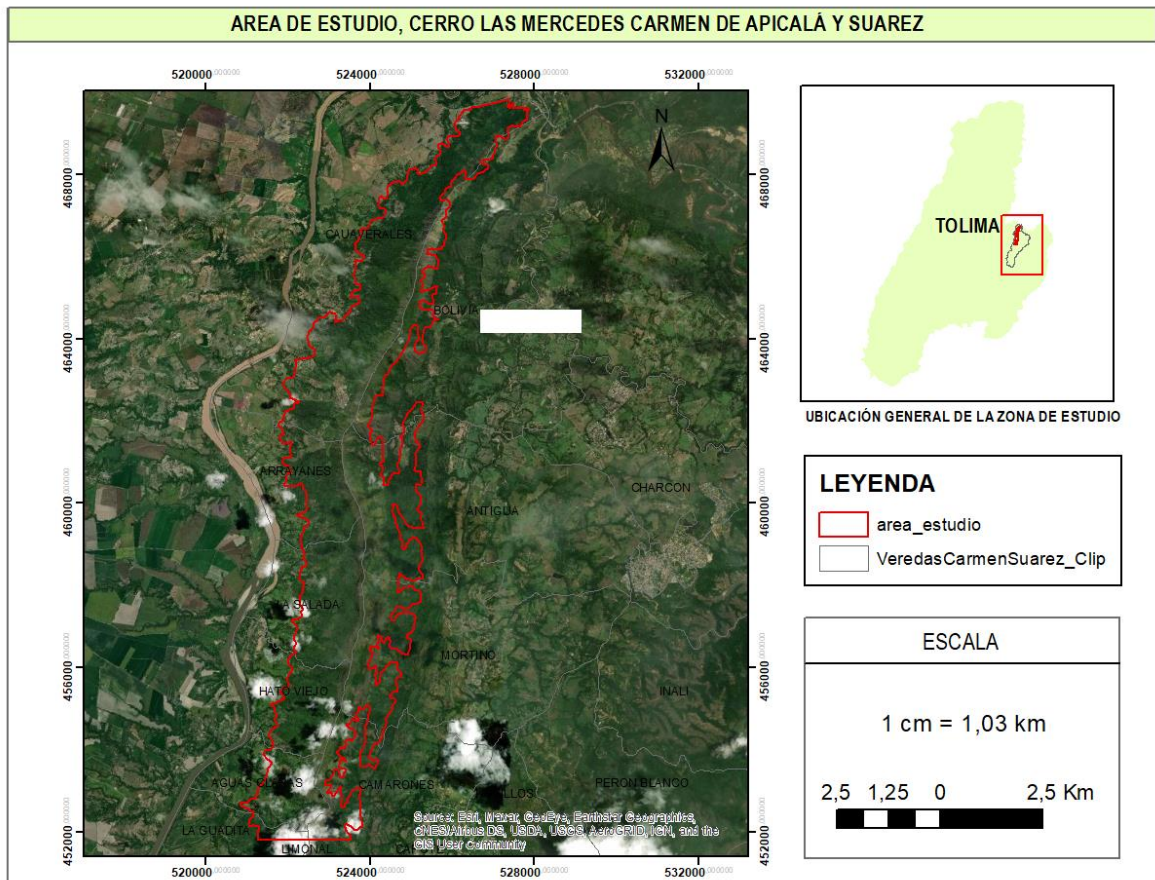
Además de normatividad colombiana, se tuvo en cuenta un documento oficial publicado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, el cual es Cartilla de incendios de cobertura vegetal donde describe consecuencias y efectos de los incendios forestales.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

1. Identificación del área de estudio

El Carmen de Apicalá es un municipio del Departamento de Tolima, situado a unos 12 km de Melgar; su temperatura promedio es de unos 28 °C y está ubicado a unos 300 msnm. Cubre un área total de 1999 Ha, es decir 20 Kilómetros cuadrados, se divide en 14 veredas. Suarez es un municipio del departamento de Tolima, su temperatura promedio es de 28°C y está ubicado a unos 290 msnm. Cuenta con un área superficial de 194 kilómetros cuadrados y se divide en 15 veredas.

Figura 1. Ilustración del área de estudio.



Fuente: autores.

El cerro las mercedes limita entre dos municipios del tolima, Carmen de apicala y Suarez. En el municipio del Carmen abarca la vereda Bolivia y en el municipio de Suarez abarca la vereda Cañaverales.

2. Métodos

2.1 imágenes satelitales y procesamiento.

Selección de imágenes satelitales

Se seleccionaron dos imágenes satelitales de Sentinel 2, una previa al incendio (24 de enero del 2019) y la otra posterior al incendio (18 de febrero del 2020), correspondientes al área de estudio. Las imágenes fueron descargadas del portal Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para la selección de las imágenes se tuvo en cuenta aquellas con un porcentaje de nubosidad inferior al 10%. Lo anterior se realizó teniendo en cuenta la ubicación donde ocurrió el evento.

Corrección radiométrica de las imágenes satelitales

Al ser imágenes de nivel 1C se aplicó la corrección atmosférica para aumentar la radiancia a nivel suelo, lo anterior se realizó por medio del software QGIS con el plugin Semi-Automatic Classification 5.3.6.1. De esta forma se realizaron las correcciones para todas las bandas en las diferentes resoluciones espaciales (10,20 y 60 m) que se presentaban al momento de utilizar la herramienta.

2.2 Clasificación de los índices NDVI y NBR

Por medio de la herramienta reclassify se clasificaron los resultados de acuerdo a unos rangos, clases y colores en cada uno de los índices previos y posteriores al incendio forestal.

Para la clasificación del índice de vegetación normalizado se utilizó la metodología de (Nieto Masot A. et al., 2018) el cual divide los valores entre -1 y 1 en 7 clases diferentes para cuantificar la cobertura vegetal de la zona por medio de la actividad fotosintética.

Tabla 1. Clasificación del NDVI según (Nieto Masot A. et al., 2018)

Actividad fotosintética	Rango Sentinel 2
Nula	< 0
Muy baja	0 a 0,1
Baja	0,1 a 0,3
Media	0,3 a 0,5
Media Alta	0,5 a 0,6
Alta	0,6 a 0,8
Muy Alta	> 0,8

Para la clasificación del NBR (Índice Normalizado de Área Quemada) y el dNBR (diferencial del índice normalizado de área quemada), que se obtiene de la resta del NBR pre y el NBR post. Se tomó como referencia la propuesta por la USGS. Donde el índice NBR mostrará una relación

de valores comprendidos entre -1 y 1. Los valores negativos representan zonas afectadas por el fuego mientras que valores positivos representan zonas vegetales sanas o en fase de regeneración

Tabla 2. Clasificación del índice NBR

CLASES	RANGOS SENTINEL 2
Gravedad alta	-0,500 - 0,251
Gravedad moderada-alta	-0,250 - 0,101
Gravedad moderada-baja	-0,100 - +0,1
Gravedad baja	+0,101 - +0,269
Sin quemar	+0,270 - +0,439
Bajo crecimiento de vegetación	+0,440 - +0,659
Alto crecimiento de vegetación	+0,660 - 1,300

Fuente: USGS

El dNBR se clasifico teniendo en cuenta la propuesta por la USGS.

Tabla 3. Clasificación del índice dNBR

CLASES	RANGOS SENTINEL 2
Alto crecimiento de vegetación	-0,500 - 0,251
Bajo crecimiento de vegetación	-0,250 - 0,101
Sin quemar	-0,100 - +0,1
Gravedad baja	0,101 - +0,269
Gravedad moderada-baja	+0,270 - +0,439
Gravedad moderada-alta	+0,440 - +0,659
Gravedad alta	+0,660 - 1,300

Fuente: USGS

2.3 Identificación del cerro y área afectada

Una vez detectado visualmente la zona donde ocurrió el incendio, se utilizó un modelo de elevación digital del geoportal *Alaska satellite Facility* (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) el cual cubriera los municipios del área de estudio, se extrajeron las sombras y curvas de nivel para conocer el relieve y alturas, así determinar el área montañosa perteneciente al cerro las mercedes.



Imagen 1. Modelo de elevación digital Carmen de Apicalá y Suarez.

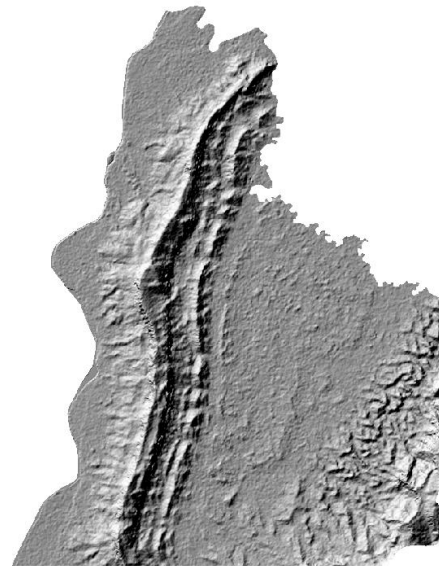


Imagen 2. Relieve de sombras del Carmen de Apicalá y Suarez

El rango que se utilizó para delimitar el cerro es desde 390 hasta los 830 metros de altura, se transformó el raster a polígono para generar el archivo shape con el que se trabajó para los recortes (extracción) de las imágenes satelitales y aplicar los respectivos índices.

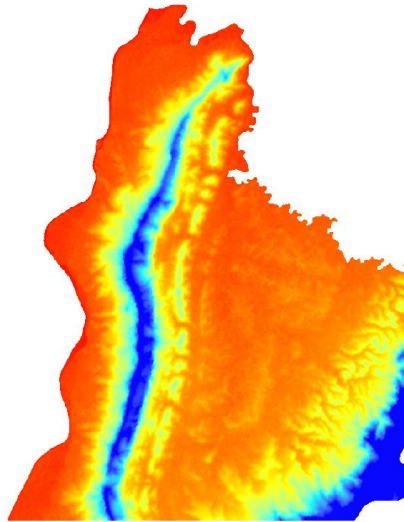


Imagen 3. Raster de alturas correspondientes al modelo de elevación digital Carmen de Apicalá y Suarez.

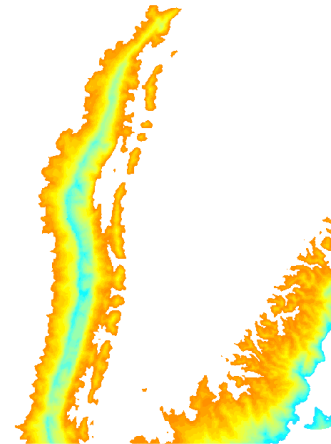


Imagen 4. Delimitación del Cerro seleccionando rangos de altura (390 hasta los 830 metros).

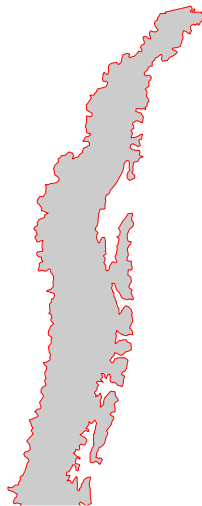
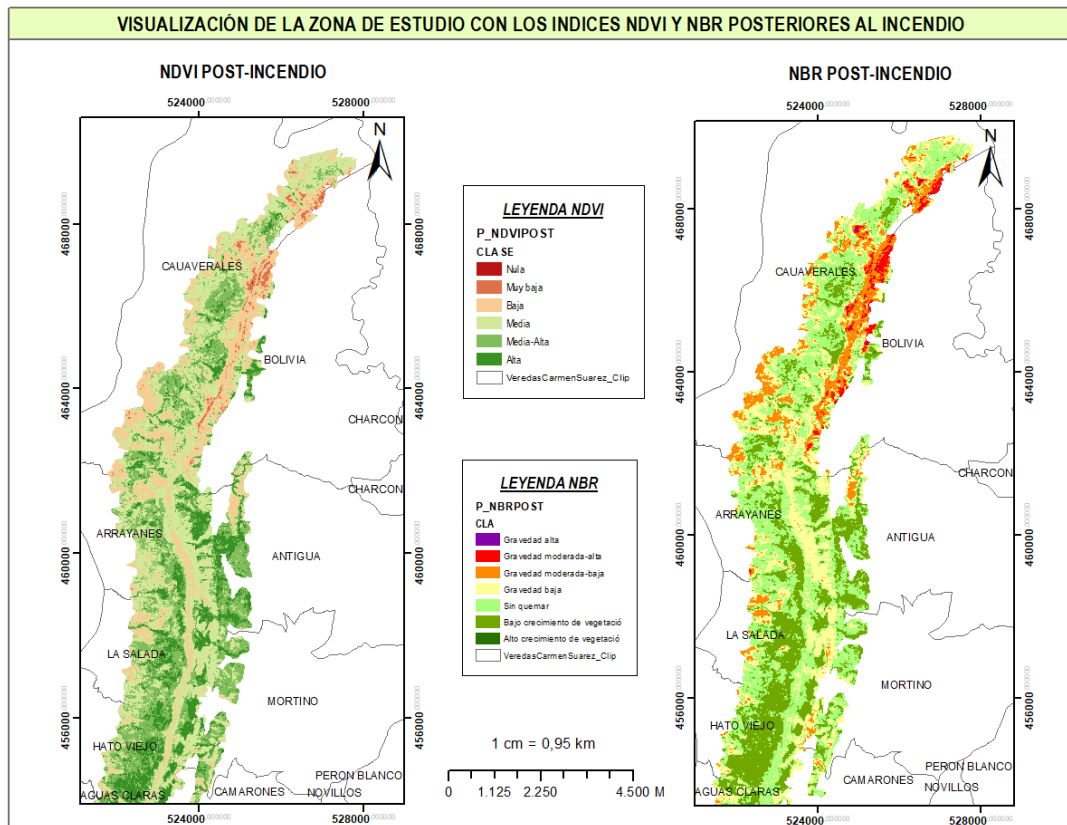


Imagen 5. Polígono del cerro las mercedes.

La delimitación de la zona afectada por el incendio se basó en la interpretación visual comparativa entre dos imágenes del satélite Sentinel 2 (pre incendio y post incendio) aplicando los índices NDVI y NBR.

Figura 2. Ilustración de índices en el cerro las mercedes.



Fuente: autores.

2.4 Pérdida y deterioro de la cobertura vegetal.

El NDVI teniendo en cuenta que este índice mide una relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Es aplicado a las comunidades de plantas o vegetación. Este índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y refleja la cantidad de vegetación presente en una zona, su estado de salud o vigor vegetativo (Ortiz Agudelo, 2019).

La clasificación de información se obtiene por medio de la medición de bandas rojas entre de sentinel 2A de 10 m (Banda 4) e infrarrojas (Banda 8) se analizaron los resultados

de estimación en cuanto a la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Aplicando la fórmula:

$$NDVI = \frac{(Banda\ 8 - Banda\ 4)}{(Banda\ 8 + Banda\ 4)}$$

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Investigaciones y estudios que han utilizado este índice señalan que valores por encima de 0.1 indican presencia de vegetación, alta actividad fotosintética, y cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores (Díaz, 2015). En cambio, los valores por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda (Meneses-Tovar, 2011). Para lo anterior el índice se dividió en 5 clases (Nula-Baja-Media-Alta) debido a que el rango de fluctuación arroja valores entre -0,5 y 1.

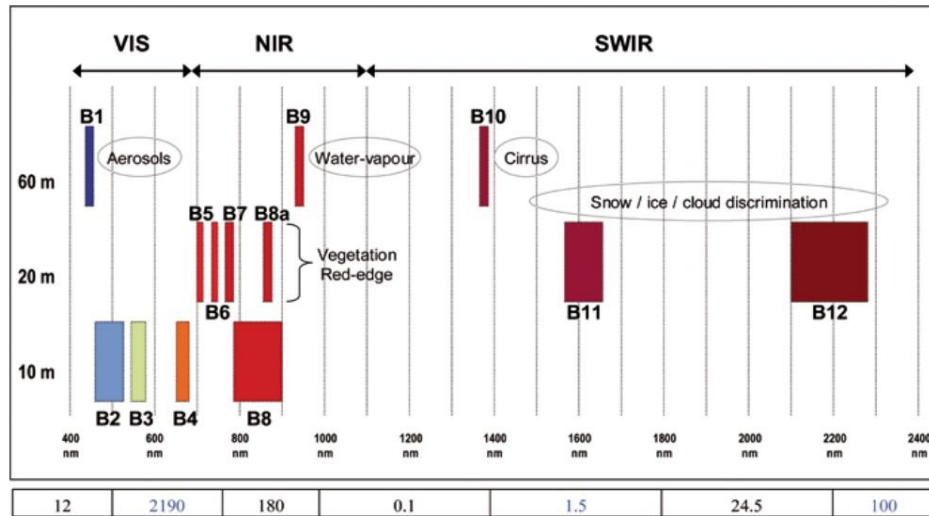
2.5 Estimación de la severidad del incendio

Se procede a determinar la severidad del incendio por medio del índice NBR (**Índice Normalizado de Área Quemada**) con cada imagen (imagen previa y posterior al incendio) diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio, especialmente en áreas con cobertura forestal, debido a que da una mejor respuesta para el caso específico del estudio de los incendios forestales, este utiliza las bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo cercano de onda corta, cuyo intervalo de variación, al estar normalizado, queda comprendido entre -1 y +1 (Manzo & López, 2013) . Combinando las longitudes de onda de infrarrojo cercano (Banda 8) e infrarrojo de onda corta (Banda 12).

$$NBR = \frac{(Banda\ 8 - Banda\ 12)}{(Banda\ 8 + Banda\ 12)}$$

La banda correspondiente al infrarrojo cercano es más sensible al contenido de clorofila que está directamente relacionada con la vitalidad de la planta, en cuanto a la región del infrarrojo medio es más sensible a los cambios del contenido de agua (Elena et al., 2016).

Gráfica 1. bandas espectrales satélite SENTINEL 2 (S2).



Fuente. European Space Agency (ESA)

La diferencia entre el NBR previo y el NBR posterior obtenido de las imágenes se usa para calcular el diferencial (dNBR), el cual se usa para estimar la severidad del incendio por niveles que pueden ser clasificados como altos medios y bajos, en donde los valores más altos indican un daño más severo y los más bajos o negativos indican un daño mínimo o un nuevo crecimiento. La fórmula para calcular el dNBR es:

$$dNBR = NBR_{previo} - NBR_{posterior}$$

Los valores en este índice varían aproximadamente entre -0.5 y +1.3 (donde los valores más negativos indican vegetación regenerada, los valores entre -1 y +0.99 zonas no quemadas y los valores más positivos zonas afectadas)

Tabla 4. Niveles de severidad en incendios obtenidos a partir del dNBR, propuesto por USGS.

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

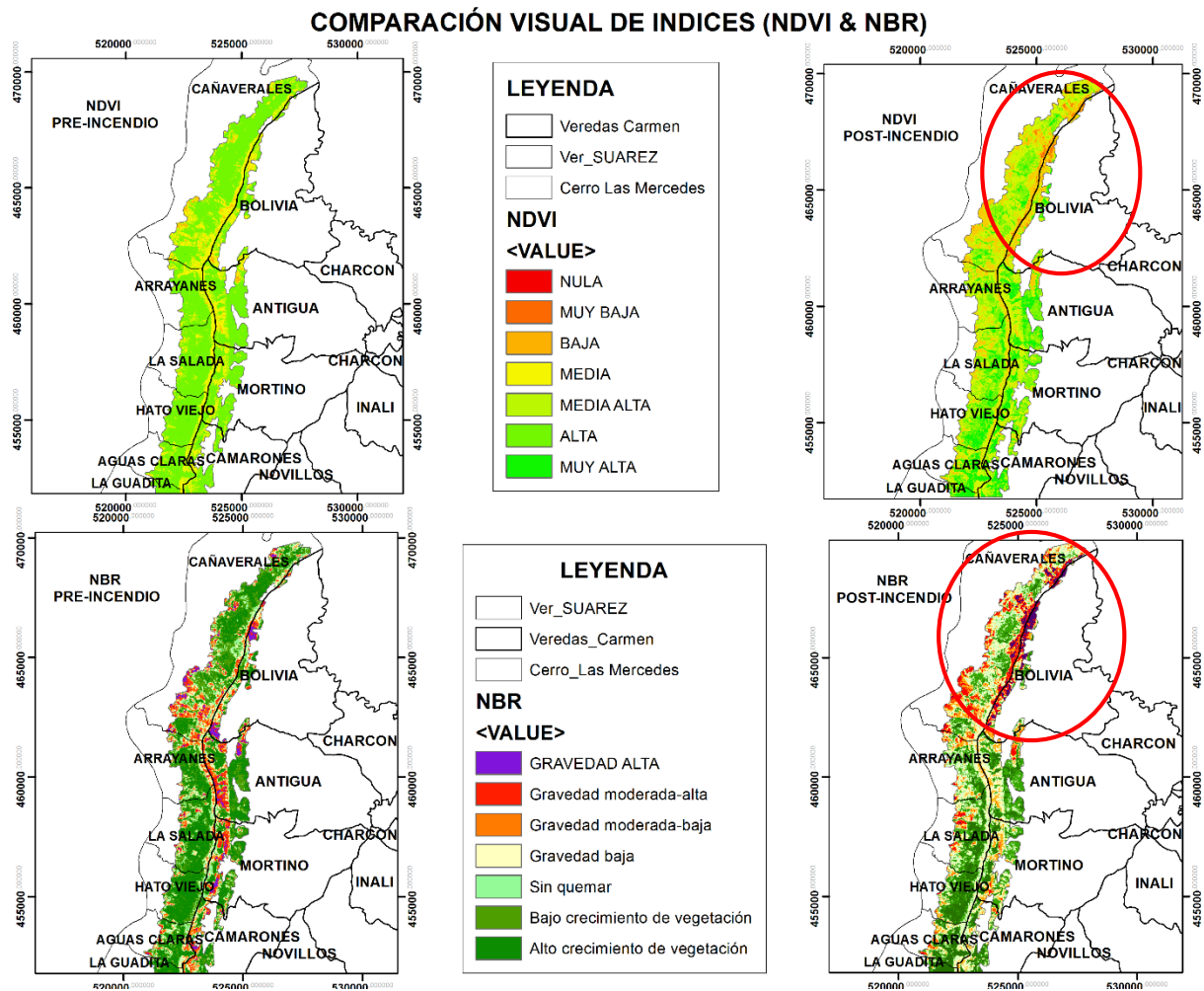
Fuente. United Nations office for outer space affairs

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Delimitación del área quemada

Realizando la comparación de ambos índices (NDVI y NBR) se observa un cambio drástico en cuanto al aumento de algunas clases que generan valores bajos en los índices mostrando las afectaciones en la vegetación de 4012,69 hectáreas del cerro las mercedes.

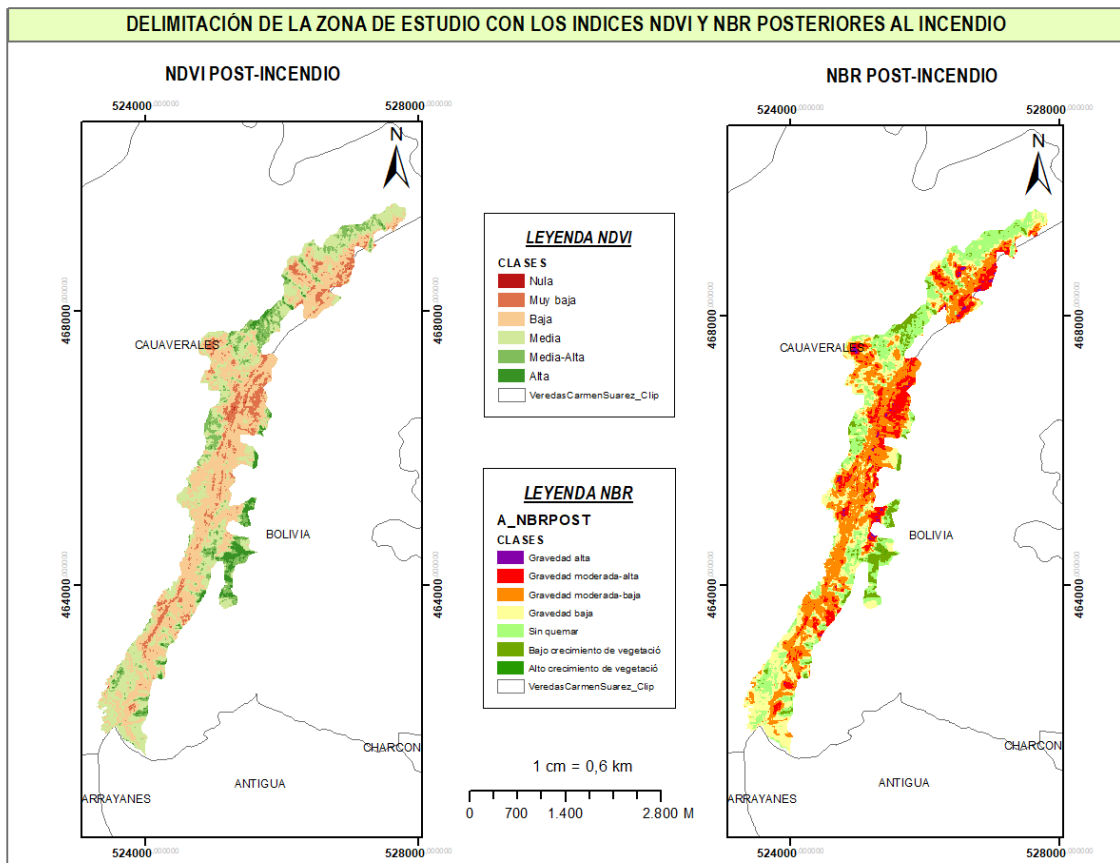
Figura 3. Ilustración de índices previa y posterior al incendio forestal



Fuente: autores.

La visualización del evento permitió delimitar la zona afectada por el incendio, para un mejor análisis de la pérdida de vegetación y la recuperabilidad de esta, a través del periodo de tiempo de las imágenes satelitales. Al determinar esa área como zona afectada se obtuvo un total de 590 hectáreas aproximadamente en la que influyo el incendio forestal (ver Figura 4).

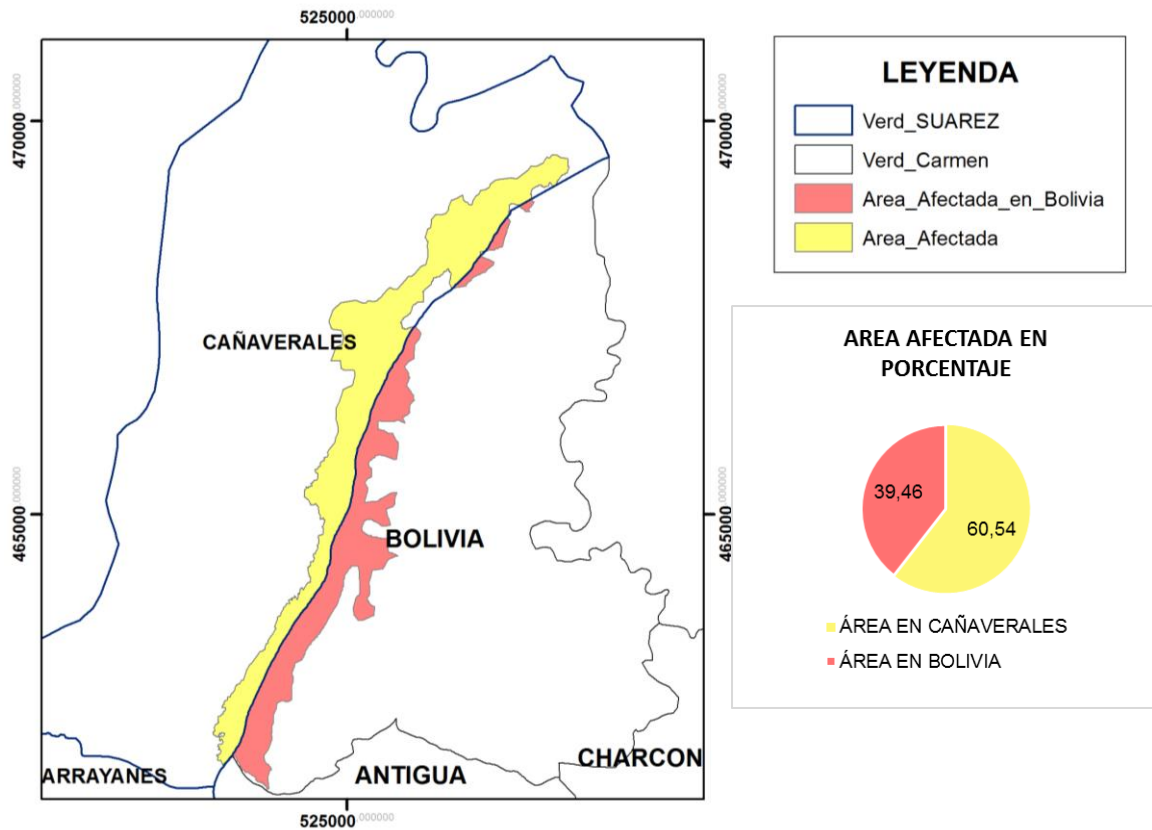
Figura 4. Área afectada por el incendio en el cerro las mercedes



Fuente: autores

El área afectada perturba a dos veredas, cañaverales que corresponde al municipio de Suarez y La vereda Bolivia que corresponde al Carmen de Apicalá, en la figura 5 se aprecia que el municipio de cañaverales tiene mayor área afectada que la vereda de Bolivia, correspondiendo a un 60,54% del área total.

Figura 5. Ilustración del área afectada por el incendio en los municipios



Fuente: autores.

2. Analisis de la vegetación

Teniendo en cuenta las coberturas de la tierra y uso del suelo que elaboro el IDEAM correspondientes a los años 2010-2012, el área afectada tiene 5 clases de coberturas de la cual 420, 79 hectáreas corresponden a vegetación secundaria o en transición, lo que corresponde a un 70% del área afectada, el restante de ocupación corresponde a coberturas de herbazales, Pastos limpios, pastos enmalezados y mosaicos con vegetación natural.

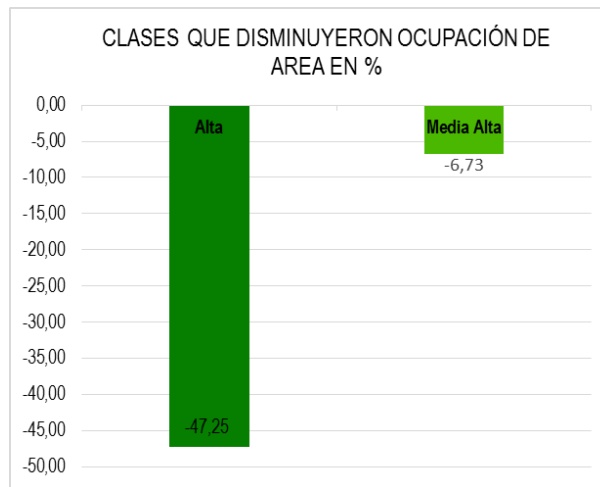
Tabla 5. Área y porcentaje del cerro las mercedes aplicando el Índice de vegetación normalizada previa y posterior al incendio

		24 de enero del 2019		18 de febrero del 2020	
		AREA		AREA	
N° CLASE	CLASE	ha	%	ha	%
1	Nula	0,03	0,005089	0,3	0,050895
2	Muy baja	0,11	0,02	53,28	9,04
3	Baja	11,30	1,92	259,28	43,99
4	Media	173,85	29,49	190,70	32,35
5	Media-Alta	102,98	17,47	63,26	10,73
6	Alta	301,20	51,09	22,63	3,84
7	Muy Alta	0,08	0,01	0,00	0,00

Fuente: autores.

La actividad fotosintética posterior al incendio tenía una incidencia entre las clases alta y muy alta del 51,1% lo que corresponde a una vegetación en condiciones favorables. Sin embargo, el evento causó un efecto negativo en la vegetación debido a que la clase muy alta disminuyó en su totalidad y la clase alta disminuyó su actividad hasta un 47% (Gráfico 2.). Por lo tanto, el incendio empeoró las condiciones de salud de la vegetación un 44% correspondiente a 259 hectáreas del área afectada y pérdida de la misma de un 9,02% (ver Tabla 4).

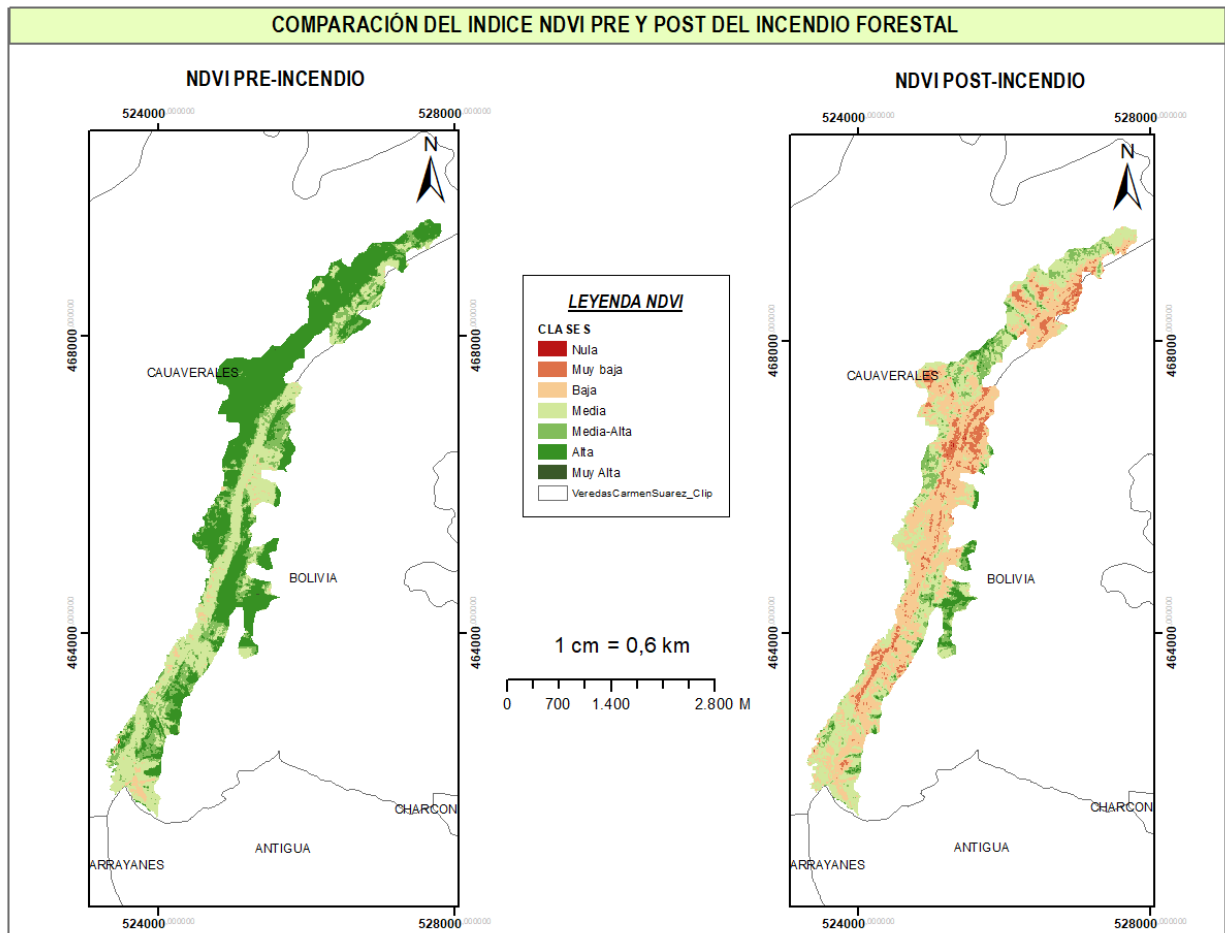
Grafico 2. Clases de mayor afectación por el incendio forestal



Fuente: autores

La clase media aumenta su ocupación solo un 8,2% lo que corresponde a 190 hectáreas del área total, es decir que hay probabilidad de una recuperación parcial teniendo en cuenta los factores ambientales y climáticos que se presenten durante las próximas épocas del año. Por consiguiente, el incendio forestal causo efectos adversos degradando la cobertura vegetal de la zona más de un 50% (ver figura 6). A pesar de lo anterior, Aún se puede apreciar que hay zonas con alta actividad fotosintética.

Figura 6. Comparación del índice de vegetación normalizada previo y posterior al incendio.



Fuente: autores

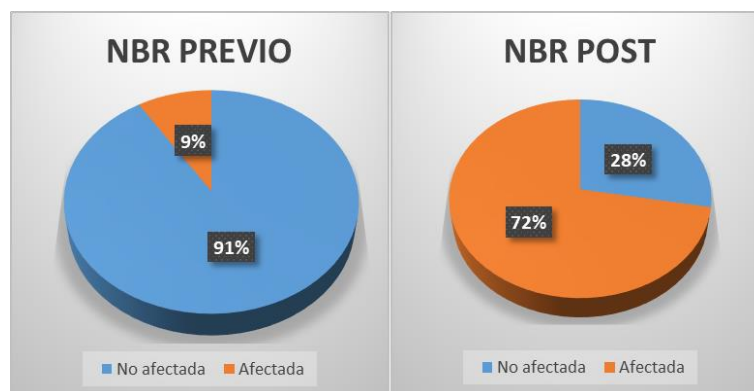
Con los datos obtenidos del cálculo del índice NBR, antes del incendio se evidencia que las áreas con vegetación en sus diferentes rangos o los valores con tendencia a ser positivos comprende el 91% lo que equivale a 537 hectáreas del área total y aquellos con grado de afectación en la vegetación comprenden el 9%, con un área de 52 hectáreas. Después del incendio forestal se evidencio una disminución en los valores positivos, dejando un área afectada con diferentes rangos de gravedad del 72% lo que equivale a 426 hectáreas (ver tabla 6), (ver gráfico 3).

**Tabla 6. Área y porcentaje de la superficie según el grado de afectación del incendio
(comparación del índice NBR pre y post)**

N° CLASE	CLASE	24 de enero del 2019		18 de febrero del 2020	
		AREA		AREA	
		ha	%	ha	%
1	Gravedad alta	0,00	0,00	4,759	0,806
2	Gravedad moderada-alta	0,00	0,00	73,953	12,524
3	Gravedad moderada-baja	4,55	0,77	199,685	33,816
4	Gravedad baja	48,25	8,19	147,595	24,994
5	Sin quemar	130,64	22,16	129,507	21,931
6	Bajo crecimiento de vegetación	304,26	51,62	34,838	5,900
7	Alto crecimiento de Vegetación	101,74	17,26	0,172	0,029

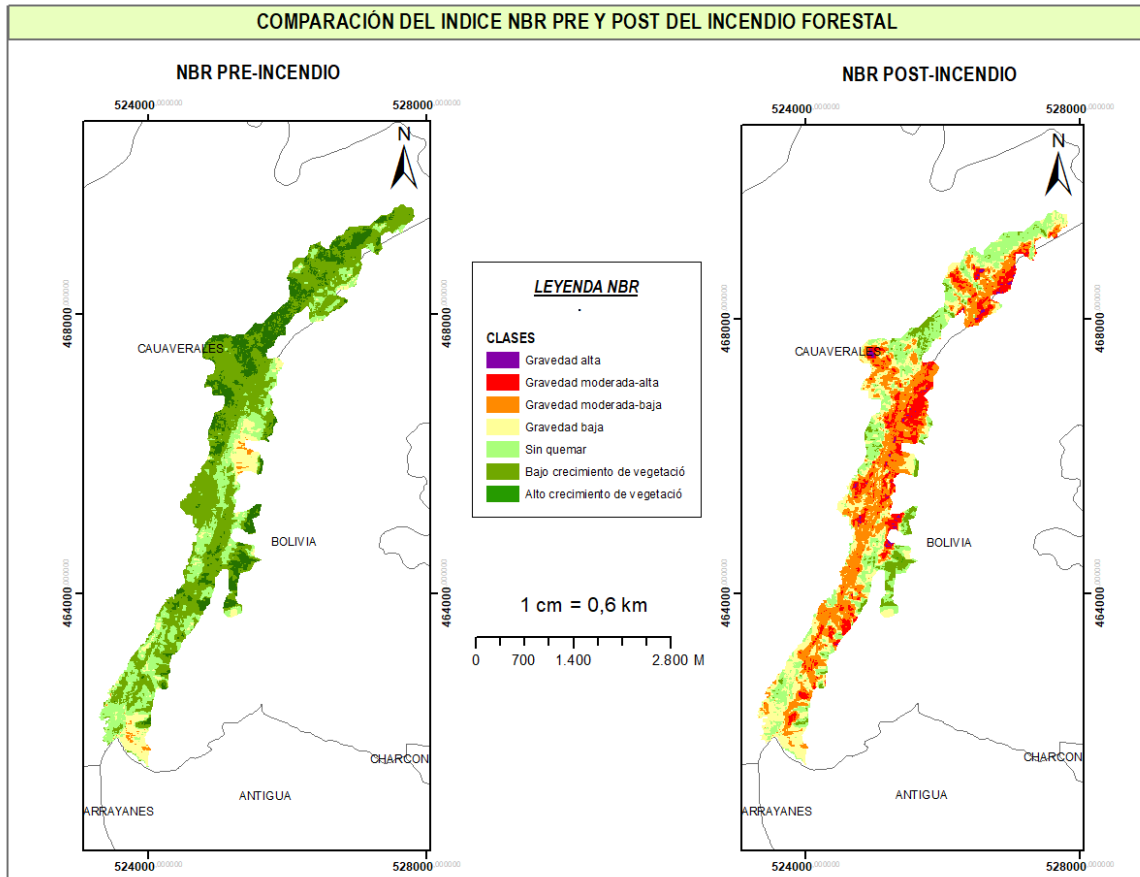
Fuente: autores

Grafico 3. porcentaje de área afectada o no afectada (comparación NBR pre y post)



Fuente: autores

Figura 7. Comparación del índice NBR pre y post

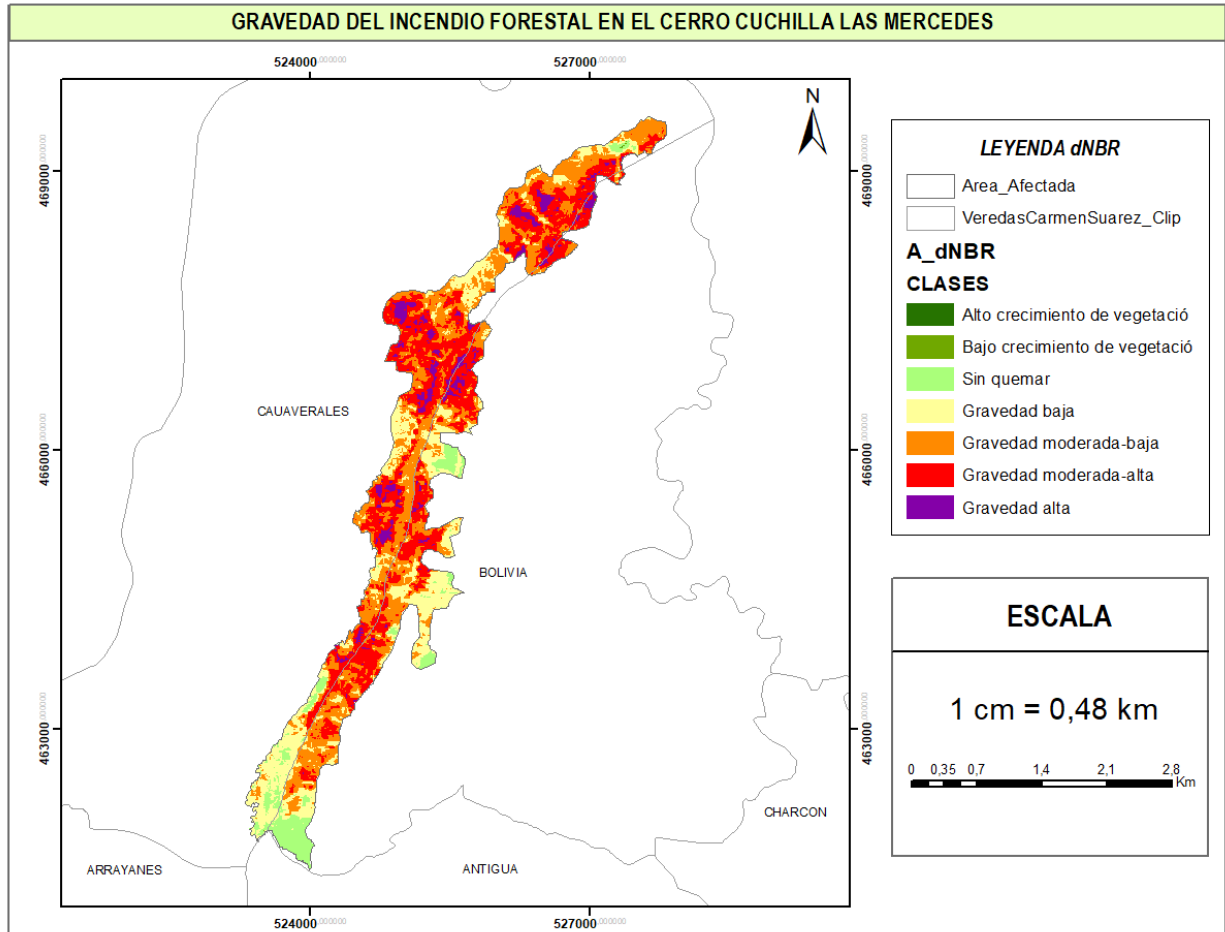


Fuente: autores

3. Estimación del grado de severidad del incendio

El análisis del diferencial dNBR (ver Figura 8) muestra el grado de severidad del incendio. Donde el grado de afectación que ocupa más área es la gravedad moderada a baja con un 34.1 % lo que equivale a 201,35 hectáreas del área total, después esta la gravedad moderada-alta con un 31.9% lo que equivale a un área de 188.2 hectáreas. Se evidencia un 0.03% de recuperabilidad de la vegetación en las clases 1-2 correspondientes a un bajo y alto crecimiento de la vegetación. De acuerdo al tiempo transcurrido del índice previo al posterior (aproximadamente 13 meses) se puede decir que la capacidad de recuperabilidad de la vegetación es muy baja. (ver grafico 4)

Figura 8. Diferencial Normalized Burn Ratio (severidad del incendio)



Fuente: autores

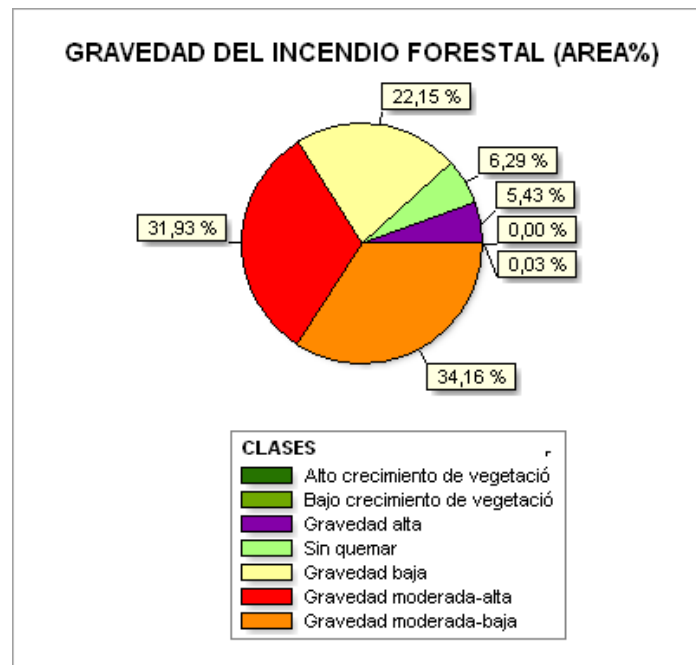
La tabla 7 muestra la ocupación que tiene cada clase en área y porcentaje de área, donde las de mayor ocupación son las clases 5 y 6 y las de menor ocupación son las clases 1 y 2.

Tabla 7. Categorización de la severidad del incendio

CLASIFICACIÓN DEL dNBR				
N° CLASE	CLASE	Area(ha)	Area(%)	
1	Alto crecimiento de vegetación	0,01	0,00	
2	Bajo crecimiento de vegetación	0,17	0,03	
3	Sin quemar	37,09	6,29	
4	Gravedad baja	130,57	22,15	
5	Gravedad moderada-baja	201,35	34,16	
6	Gravedad moderada-alta	188,20	31,93	
7	Gravedad alta	32,01	5,43	

Fuente: autores

Grafico 4. Porcentajes según la gravedad del incendio (dNBR)



Fuente: autores

8. CONCLUSIONES

Las imágenes satelitales por su amplia cobertura espacial y temporal, son una alternativa óptima para el análisis de eventos como los incendios forestales que son una realidad creciente. A través del análisis de los índices NDVI y NBR se pueden obtener variables que dan respuesta a el área quemada y la severidad de estos eventos.

A partir del índice NBR y el dNBR se observa que la recuperabilidad de la vegetación en términos de la capacidad que tiene la cobertura vegetal de restablecer sus niveles de biomasa presentes en el área. En el tiempo de 13 meses aproximadamente, no fue capaz de restablecer un área significativa de la zona quemada. Por lo tanto, esta variable demuestra la respuesta que tiene el ecosistema a estos eventos.

Mediante el dNBR se califica el incendio forestal como grave moderado-bajo a grave moderado- alto.

El dNBR es fundamental para la gestión del riesgo en los dos municipios, ya que permite priorizar las áreas en las que se debe actuar y ayuda a la adopción de un plan de manejo para áreas quemadas y medidas de recuperación.

Teniendo en cuenta los análisis por medio del NDVI, los datos concuerdan con el índice de gravedad del incendio debido al aumento de valores negativos en la zona de estudio en más de un 50%, puesto que las zonas de clase media y muy baja vegetación ilustran la gravedad baja y gravedad moderada baja y moderada alta del índice dNBR. Es decir, los índices de vegetación son un factor clave para definir zonas de área afectada y la comparación con los índices de área quemada permiten una mayor efectividad al delimitar la zona sin recurrir visitas a campo.

Generalmente estas zonas son de difícil acceso por lo tanto los SIG son una herramienta que permite calcular los daños que causa un incendio forestal.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

Díaz, G.-C. J. J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.

Universidad Complutense De Madrid, 77.

http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

Guanacaste, C., Rica, C., Vargas-sanabria, D., & Campos-vargas, C. (2018). *Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de*. 10(2), 435-446.

Moody J. A., Shakesby, R. A., Robichaud, P. R., Cannon, S. H. y Martin, D. A. (2013): Temas de investigación actuales relacionados con los procesos de erosión y destrucción posteriores a incendios forestales. *Reseñas de Ciencias de la Tierra*, 122: 10-37.

Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación de bosque. *Unasylva*, 62, 39-46.

Nieto Masot A., G, N. A., & G, M. M. (2018). Delimitación y análisis del incendio forestal de Sierra de Gata (Cáceres) mediante imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel 2. *7º Congreso Forestal Español*, 12.

http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/19470

Ortiz Agudelo, J. L. (2019). *APLICABILIDAD DEL NDVI PARA LA ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS, EN EL MUNICIPIO DE ALBÁN, CUNDINAMARCA*. 53(9), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Shakesby , R. A. & Doerr , S. H. (2006) : Wildfire as a hydrological and
geomorphological agent . Lorth - Science Reviews , 74 : 269 307.

10. ANEXOS

Se adjunta una carpeta con los anexos correspondientes al trabajo de grado