



**DETERMINACIÓN DE LA SEVERIDAD DE  
INCENDIOS FORESTALES A PARTIR DE  
IMÁGENES SATELITALES EN PUERTO RICO,  
META. EVENTOS OCURRIDOS ENTRE EL 27  
DE ENERO DE 2020 AL 16 DE ABRIL DE 2020.**

**DETERMINATION OF THE SEVERITY OF FOREST FIRES  
FROM SATELLITE IMAGES IN PUERTO RICO, META.  
EVENTS FROM 27 JANUARY 2020 TO 16 APRIL 2020**

Lizeth Nathaly Vanegas Porras  
U3101497  
Ingeniera Ambiental

Director:  
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
JUNIO DE 2020  
BOGOTÁ-COLOMBIA**

# DETERMINACIÓN DE LA SEVERIDAD DE INCENDIOS FORESTALES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES EN PUERTO RICO, META. EVENTOS OCURRIDOS ENTRE EL 27 DE ENERO DE 2020 AL 16 DE ABRIL DE 2020.

## DETERMINATION OF THE SEVERITY OF FOREST FIRES FROM SATELLITE IMAGES IN PUERTO RICO, META. EVENTS FROM 27 JANUARY 2020 TO 16 APRIL 2020

Lizeth Nathaly Vanegas Porras  
Ingeniera Ambiental.  
Aspirante a especialista en Geomática.  
Universidad Militar Nueva Granada.  
Bogotá, Colombia  
[u3101497@unimilitar.edu.co](mailto:u3101497@unimilitar.edu.co)

### RESUMEN

El presente trabajo busca determinar la severidad de los incendios forestales a partir de imágenes satelitales Landsat 8 obtenidas en el visor Earthdata. El área de estudio corresponde al municipio de Puerto Rico ubicado en el departamento del Meta el cual se ha visto afectado por una serie de incendios en el inicio del año. La severidad de incendios forestales se determina a partir del índice de severidad del fuego (NBR) demostrando que los procesos de teledetección desarrollados en los softwares ArcGis y Erdas imagine 2020 permite evaluar los impactos negativos sobre las coberturas vegetales. Los resultados muestran las zonas de severidad cuantitativas clasificadas como variables en orden continuo cualitativo.

**Palabras Clave:** Imágenes satelitales, índice de severidad del fuego, teledetección, Landsat 8, coberturas vegetales, ArcGis, Erdas Imagine 2020.

### ABSTRACT

This paper seeks to determine the severity of forest fires from Landsat 8 satellite images obtained in the Earthdata viewer. The study area corresponds to the municipality of Puerto Rico located in the department of Meta which has been affected by a series of fires at the beginning of the year. The severity of forest fires is determined from the Fire Severity Index (NBR) showing that the remote sensing processes developed in the Arcgis and Erdas Imagine 2020 software allow to assess the negative impacts on plant cover. The results show the quantitative severity zones classified as variables in continuous qualitative order.

**Keywords:** Satellite images, fire severity index, remote sensing, Landsat 8, plant coverage, Arcgis, Erdas Imagine 2020.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son una amenaza creciente en la actualidad. A nivel global, los incendios forestales siempre han estado presentes, por su parte, en Colombia cada año se registran numerosos incendios que causan la pérdida de cobertura vegetal; por supuesto han sido una constante, sobre todo en los periodos de menor precipitación, estos eventos se han intensificado en épocas del fenómeno del Niño y es claro que han contribuido a la degradación de los ecosistemas boscosos del país, cada año afectan un promedio de 42.000 hectáreas. [1] (MADS, 2013)

Las afectaciones causadas por los incendios forestales son muy amplias y están intensificadas por la acción antrópica. Los ecosistemas boscosos, la fauna, la biodiversidad, el agua, la calidad del aire, el suelo, en general, los recursos naturales se ven impactados negativamente cuando hay ocurrencia de incendios forestales.

Según cifras del IDEAM, analizadas por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT- ( hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desde el año 2011, en documentos internos de trabajo de la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos), se tiene que son varios los motores de pérdidas y transformación de los bosques naturales y señala que la pérdida, en su gran mayoría, es generada por el cambio del uso del suelo a ganadería, agricultura y desarrollo de infraestructura, y destaca que el país tiene el 24% de la cobertura vegetal con alta vulnerabilidad a los incendios forestales. [1] (MADS, 2013)

Por lo anterior, proporcionar un adecuado manejo a la gestión del riesgo por incendios forestales es fundamental con el fin de contrarrestar los impactos negativos causados. En la actualidad se pueden implementar estrategias utilizando las TI; dentro de las herramientas que pueden ser utilizadas se encuentra la teledetección y los SIG.

La teledetección se basa en el análisis de la energía reflejada por la superficie terrestre, que se resume de la siguiente forma: el Sol ilumina la superficie terrestre, y esta refleja parte de la energía en función del tipo de cubierta vegetal presente sobre ella. Este flujo lo puede recoger un sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera que dispersa y absorbe también parte de la señal original. De igual forma, la observación remota puede basarse también en la energía emitida por las propias cubiertas, o en la que podríamos enviar desde un sensor que fuera capaz, tanto de generar su propio flujo energético, como de recoger su reflexión sobre la superficie terrestre. Ello ha sido posible gracias al desarrollo que han experimentado, por un lado, las técnicas de tratamiento digital de imágenes, lo cual ha facilitado la obtención de datos significativos del territorio, y por otro, el acceso a la exhaustiva información digital proporcionada por sensores en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal [2] (Chuvieco, 1996)

Cuando se produce un incendio hay cambios significativos en la energía reflejada por la superficie terrestre, ya que, al haber disminución de la cobertura vegetal la humedad del suelo cambia, se disminuye la clorofila afectando los patrones de coloración, se

presentan variaciones cuantitativas de la cobertura del suelo aumentando el suelo desnudo. [3] (Nieto et al., 2015) Estos cambios son captados por las imágenes satelitales razón por la cual constituyen la base del presente trabajo.

Hay numerosos estudios que describen el uso de teledetección y sistemas de información geográficos en la gestión de incendios forestales. Por ejemplo, [4] (Chuvienco et al., 2007) en España se desarrolló un modelo de peligro de incendios forestales mediante Teledetección y SIG. En este modelo se destaca, entre otros, el desarrollo de un servidor cartográfico de riesgo de incendios. En México, [5] (Martínez, 2012) se desarrolla un trabajo investigativo sobre la cartografía de riesgo de incendios forestales aplicando sensores remotos y sig. En Chile, [6] (Castillo et al., 2008) elaboraron el diseño e implementación de herramientas computacionales para la prevención y combate de incendios forestales.

Dentro de las herramientas más empleadas para la determinación de la severidad de incendios forestales se encuentra el índice de severidad del fuego (NBR por sus siglas en inglés). Este índice es de gran utilidad porque con los resultados que arroja permite a los entes territoriales evaluar los mecanismos de compensación y mitigación de impactos post-incendio.

El NBR, elaborado por Hunt y Rock en 1989, estima la severidad del incendio forestal. Para ello emplea el contraste entre el infrarrojo cercano (IRC = 0,845 – 0,885  $\mu\text{m}$ , Banda 5 del Landsat 8) por ser sensible al contenido de agua en la vegetación y el suelo; y el infrarrojo de onda corta (SWRI = 2 – 2,3  $\mu\text{m}$ , Banda 7 del Landsat 8) que es sensible a la detección de vegetación sin actividad fotosintética, en el medio post-incendio [7] (Jia et al., 2006).

Diversos medios de comunicación colombianos dieron a conocer que al inicio del año se presentaron diversos incendios forestales a lo largo del país. Por ejemplo, el periódico del Meta indica que el director de Cormacarena señaló que la ola de calor deja 1.100 hectáreas afectadas en los municipios de Puerto López, Puerto Rico y San Juan de Arama. A este daño se suma, que este miércoles la Defensa Civil reportó la pérdida de aproximadamente 25.000 hectáreas de sabana nativa que fueron consumidas por el fuego. [8] (Periódico del Meta, 2020)

El municipio de Puerto Rico, Meta tiene gran importancia ecosistémica, ya que, dentro de la jurisdicción del municipio de Puerto Rico se encuentra parte del Parque Nacional Natural de la Sierra de la Macarena, con una superposición aproximada del 40% del total del área municipal; la zona de recuperación para la producción del Distrito de Manejo Integrado de la Macarena (33% del área municipal) y del Distrito de Manejo Integrado Producción Ariari- Guayabero, 25% del área municipal. [9] (Alcaldía municipal de Puerto Rico, 2020)

De acuerdo a lo anterior, en el presente trabajo se determinará la severidad de incendios forestales en el municipio de Puerto Rico, Meta entre el 27 de enero de 2020 y el 16 de abril de 2020.

# 1. MATERIALES Y MÉTODOS

## 1.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque del método corresponde a un modelo descriptivo ya que parte de la observación del fenómeno a través de la respuesta espectral de imágenes satelitales para su posterior descripción. Permite ser usado como una herramienta de gestión del riesgo.

## 1.2 FASES METODOLÓGICAS

La metodología del presente trabajo se subdividió en dos (2) fases de ejecución procedimentales las cuales se describen a continuación.

### 1.2.1 FASE I: LABORES PRELIMINARES AL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES, PROCESAMIENTO Y FOTOINTERPRETACIÓN MULTIESPECTRAL.

Las imágenes satélites son obtenidas del visor global de Earthdata, el cual es el Repositorio de imágenes de sensores remotos y datos derivados mantenido por el USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

Las imágenes utilizadas son Landsat 8 las cuales cuentan con las siguientes características:

Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
*Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

*Figure 1 Características de Landsat 8*

[10] Fuente: [https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen\\_2-3.png](https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen_2-3.png)

En el visor global de Earthdata se realizó la búsqueda de imágenes que cubrieran la totalidad del municipio, para esto se identificó el Path y Row correspondiente a la zona de estudio. Se adquirió del shape del municipio de Puerto Rico con el fin de delimitar geográficamente el área de estudio.

Con el fin de confirmar esta información, se descargó la imagen que contiene la referencia geográfica, se cargó en Arcgis sobre el shape del municipio y se verificó que cubría completamente al municipio.

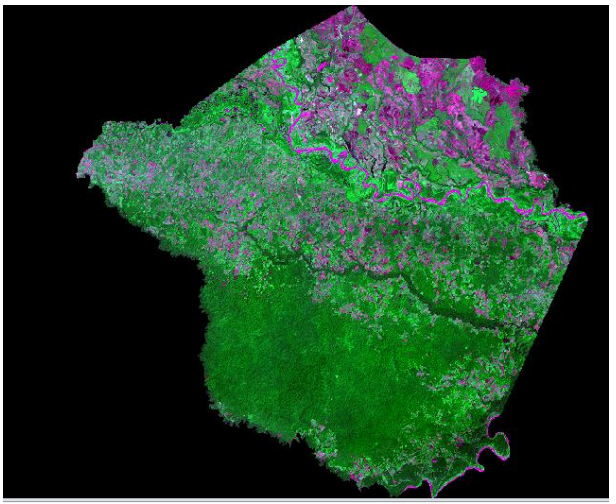
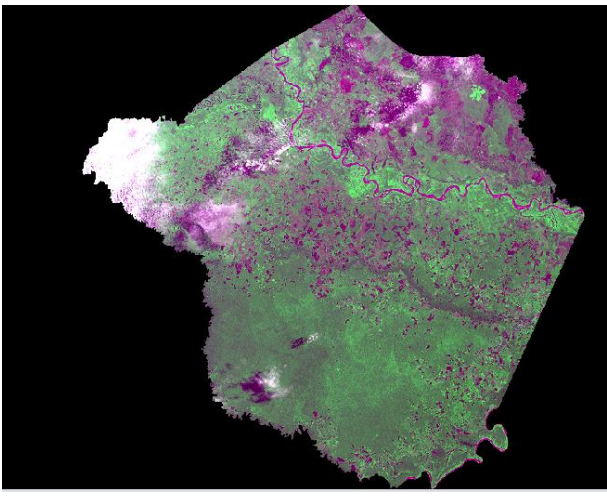
Por último, se tomaron como criterios adicionales de búsqueda, la temporalidad y la nubosidad, cuyos datos corresponden a la primera parte del año 2020, y porcentaje de nubosidad inferior al 50% respectivamente. Las imágenes obtenidas son del 27 de enero de 2020 y del 16 de abril de 2020. Tienen una nubosidad menor al 50%, se encuentran sobre el Path 7 y el Row 58 y cubren la totalidad del municipio.

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software Erdas Imagine 2020, el cual permite analizar imágenes, sensores remotos y SIG, soporta imágenes ópticas pancromáticas, multi e hiperespectrales, y tiene variedad de herramientas de detección de cambios [11] (Arenas, 2020).

En el software se realizó el layer stack de las bandas para cada una de las imágenes descargadas. La composición corresponde a las bandas B1 Aerosol costero, B2 Azul, B3 Verde, B4 Rojo, B5 Infrarrojo cercano (NIR), B6 SWIR 1, y B7 SWIR 2. Con el shape del municipio se realizó el recorte del área de interés a las imágenes compuestas.

Para realizar diferentes análisis visuales de las imágenes [3] (Nieto et al., 2015) las dos combinaciones de bandas más adecuadas para la delimitación de un incendio son las bandas 7, 6, 5 (infrarrojo onda larga, infrarrojo onda corta e infrarrojo cercano, respectivamente), y la segunda que combina las bandas 7, 5, 4 (infrarrojo onda larga, infrarrojo cercano y rojo, respectivamente).

*Table 1 Recorte de imagenes*

Recorte Landsat 8 01/27/2020	Recorte Landsat 8 16/04/2020
	

Por tanto, se procedió a realizar la combinación de las bandas 7,6,5 y posteriormente la combinación 7,5,4. Con el fin de desarrollar un adecuado análisis se tiene en cuenta la información de las aplicaciones de las bandas de las imágenes Landsat 8.

Banda espectral	Aplicaciones
Azul (0.45-0.5 $\mu\text{m}$ )	Penetración del agua, uso de la tierra, características de la vegetación, sedimentos.
Verde (0.5-0.6 $\mu\text{m}$ )	Reflexión verde de la vegetación sana
Rojo (0.6-0.7 $\mu\text{m}$ )	Discriminación de la vegetación por la absorción de la clorofila
Panromático (0.5-0.75)	Trazado del uso de la tierra
Infrarrojo reflectivo (0.75-0.9)	Biomasa, identificación de cultivos, límites de tierra y agua
Infrarrojo medio (1.5-1.75)	Cantidad vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve
Infrarrojo medio (2-2.35)	Geología, formación de rocas
Infrarrojo térmico (10-12.5)	Diferenciación temperatura, descargas térmicas, clasificación de la vegetación, inercia térmica
Microonda de onda corta (0.1-5cm)	Cubrimiento de la nieve, profundidades, contenido de agua en la vegetación
Microonda de onda larga (5-24cm)	Medidas del suelo, límites entre tierra y agua, penetración de la vegetación

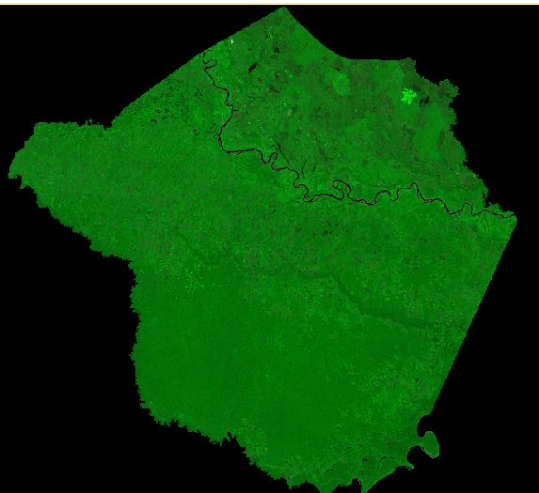
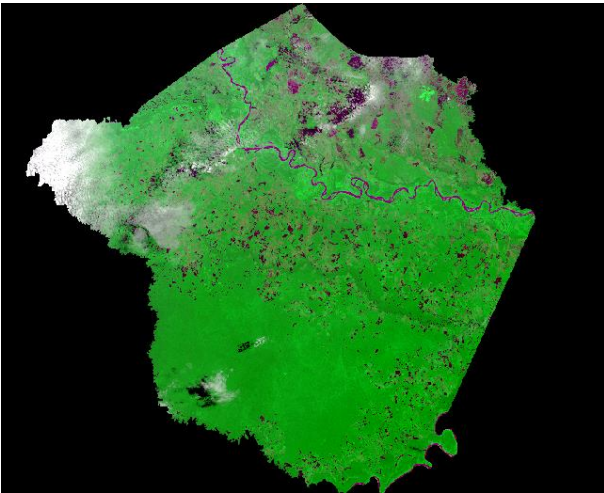
Figure 2 Aplicaciones de bandas Landsat 8

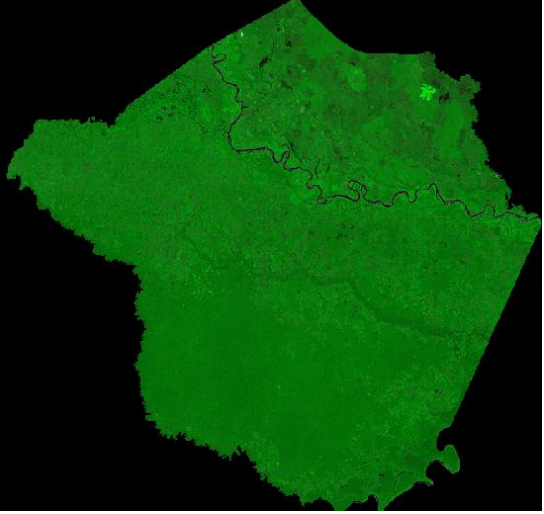
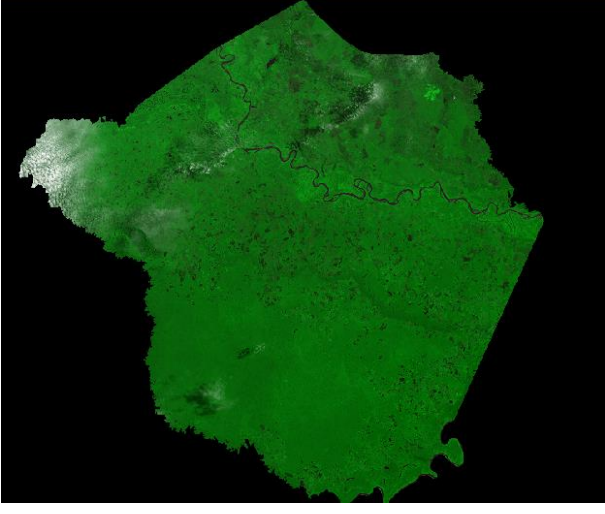
[15] Fuente: Rodríguez y Arredondo, 2005

A cada combinación de las bandas se le aplicaron criterios de mejoramiento de imágenes con el fin de realizar una adecuada fotointerpretación multispectral. Para esto se efectuaron realces, filtros y correcciones.

Los realces utilizados para cada imagen corresponden al Método Photography Enhancements y al Método Dynamic Range Adjust.

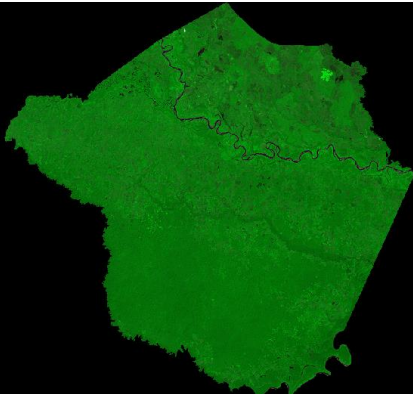
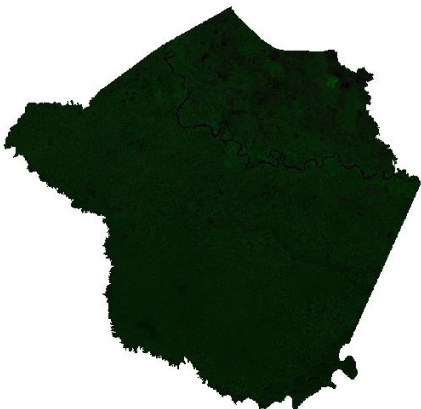
Table 2 Métodos de realce

Método Photography Enhancements Landsat 8 01/27/2020	Método Photography Enhancements Landsat 8 16/04/2020
	

Método Dynamic Range Adjust Landsat 8 01/27/2020	Método Dynamic Range Adjust Landsat 8 16/04/2020
	

El filtro empleado fue Haze Reduction 3x3 el cual permitió la reducción de la turbidez atmosférica que aparece como contraste reducido.

*Table 3 Filtro Haze Reduction*

Haze Reduction 3x3 Landsat 8 01/27/2020	Haze Reduction 3x3 Landsat 8 16/04/2020
	

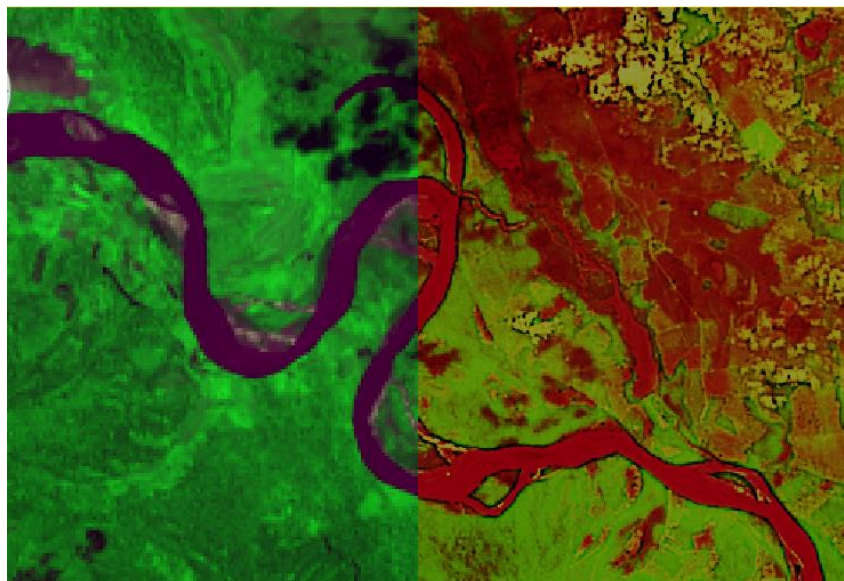
La resolución espectral de las bandas compuestas (1 a 7) es de 30m y la resolución de la banda pancromática (B8) es de 15m. Al fusionarlas se realiza un mejoramiento de la resolución espectral permitiendo un análisis más claro. Por tanto, se procede a realizar este mejoramiento a través de la herramienta HPF Resolution Merge.





*Figure 3 Mejoramiento B8 Landsat 27/01/2020*

La combinación utilizada como resultado de la combinación de las bandas multiespectrales con la banda pancromática es la 8,5,3 ya que esta es una combinación muy usada en estudios de geología, agricultura y de humedales, así como en casos de incendios forestales (post-análisis). Las áreas urbanas aparecen en tonos de magenta, con parches de verde claro para parques, cementerios, etc., y un verde oliva usualmente indica áreas forestales de árboles coníferos. [11] (Arenas, 2020)



*Figure 4 Mejoramiento B8 Landsat 16/04/2020*

Con las imágenes obtenidas se procede a realizar la fointerpretación multiespectral.

## 1.2.2 FASE II: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA SEVERIDAD DE INCENDIOS.

Para calcular el índice de severidad de incendios se separaron las bandas 5 y 7 de las imágenes procesadas. Para esto se utilizó la herramienta Layer stack de Erdas Imagine 2020.

Las imágenes son monocromáticas y corresponden a los espectros del Infrarrojo cercano (NIR) y del SWIR 2.

En ArcMap se usó la herramienta Raster Calculator de ArcToolbox utilizando la ecuación del NBR la cual es = (banda 5 – banda 7) / (banda 5 + banda 7)

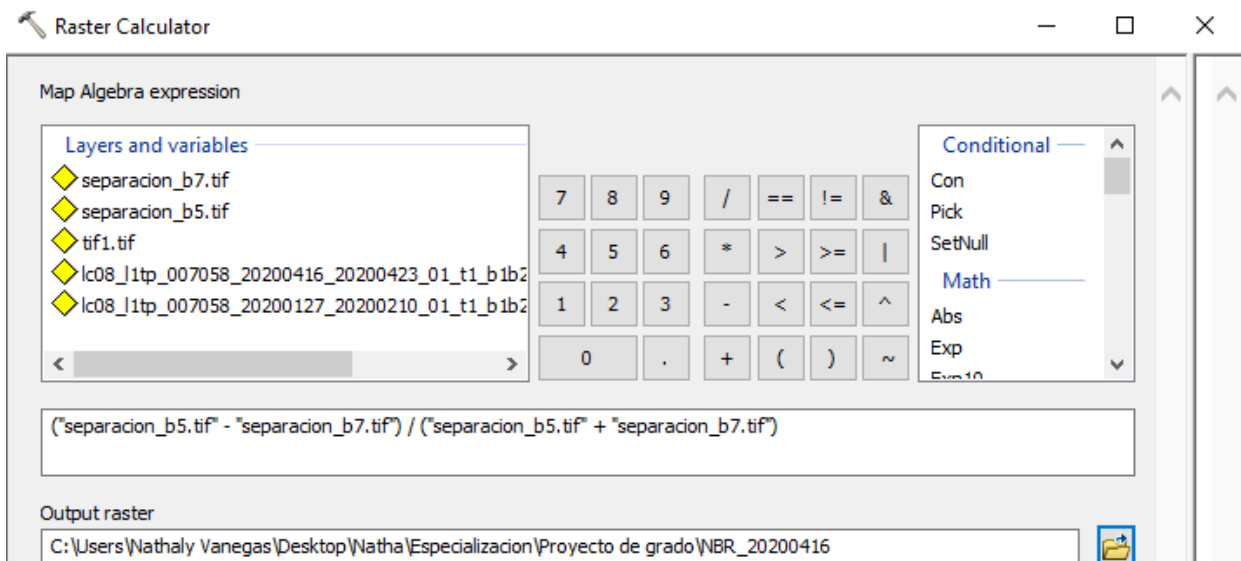


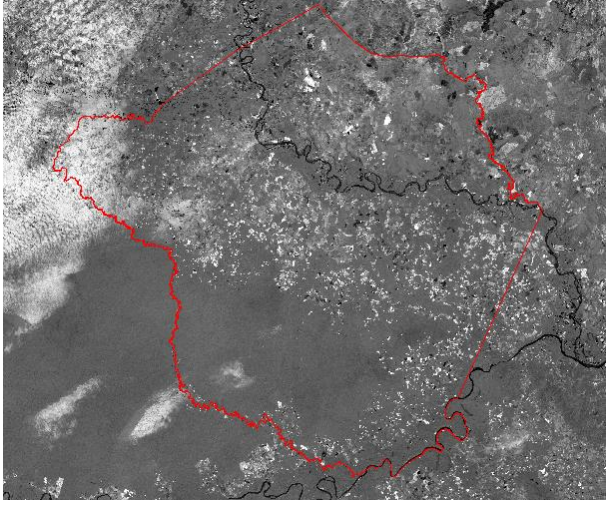
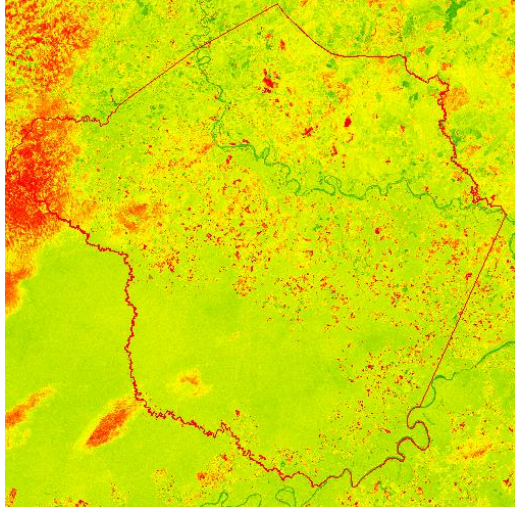
Figure 5 Ecuación del índice de severidad de incendios

Esta ecuación se efectúa a cada una de las imágenes.

Posteriormente se calcula el índice de la severidad entre los dos tiempos con la ecuación  $NBR = NBR \text{ del } 01/27/2020 - NBR \text{ } 16/04/2020$

A la imagen generada se le aplica un realce que permite verla con mejor contraste (i.e desviación estándar con  $n=1.5$ ) y se le asigna una gama de colores.

Table 4 Realce a imagenes NBR

Desviación estándar n=1.5	Gama de colores
	

El NBR representa los rangos a través de los cuales es posible determinar la severidad causada por el incendio. Estos valores son suministrados por la UGSS.

- **< -0,25:** Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego
- **-0,25 – - 0,1:** Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego
- **-0,1 – 0,1:** Zonas estables o sin quemar
- **0,1 – 0,27:** Zonas quemadas con gravedad baja
- **0,27 – 0,44:** Zonas quemadas con gravedad moderada-baja
- **0,44 – 0,66:** Zonas quemadas con gravedad moderada-alta
- **> 0,66:** Zonas quemadas con gravedad alta

Figure 6 Valores de la UGSS para NBR

[12] Fuente: <http://www.gisandbeers.com/analisis-severidad-incendios-indice-nbr/>

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la imagen se realizó el proceso de clasificación. La clasificación digital de imágenes satelitales usa información espectral representada por los ND en una o más bandas espectrales e intenta clasificar cada pixel individual basado en esta información espectral, este tipo de clasificación se denomina reconocimiento espectral de patrones. De acuerdo con esto, el propósito es asignar a todos los pixeles en una imagen diferentes clases como por ejemplo bosques plantado, bosque de galería, agua, centros poblados, etc. [11] (Arenas, 2020)

Según lo anterior, se llevó a cabo la clasificación no supervisada a partir de los valores de los píxeles obtenidos en el índice NBR. En esta clasificación, las clases espectrales son agrupadas primero basados únicamente en la información numérica de los datos y son relacionadas por el intérprete a clases de información de ser posible, el software por medio de unos algoritmos denominados “algoritmos de agrupamiento” determinan las agrupaciones estadísticas o estructuras en los datos, el analista por lo general debe especificar el número de clases que el software debe agrupar, así como algunos parámetros de distancia de separación entre agrupaciones y la variación en cada agrupación [11] (Arenas, 2020)

De acuerdo a la clasificación realizada, se procedió a crear un Feature class denominado NBR de tipo polígono sobre el cual se va a cartografiar las áreas de acuerdo a los valores del índice. En el campo superficie se calculó el área en hectáreas de cada polígono de incendios generado utilizando la herramienta Calculate geometry.

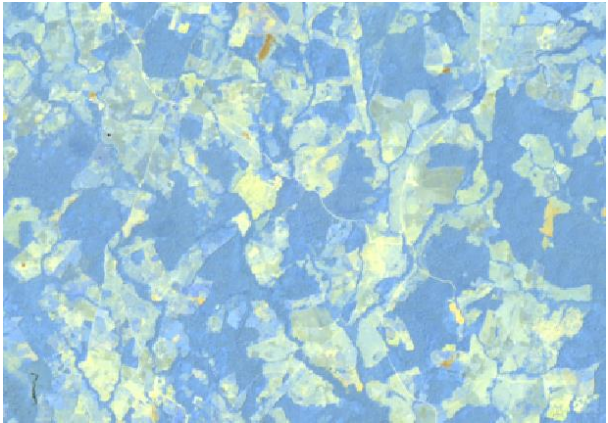
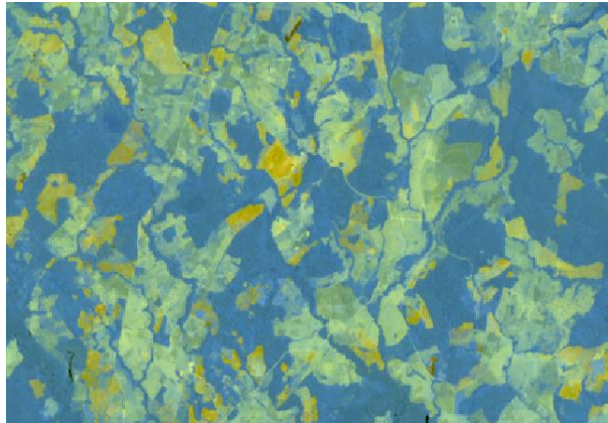
Posteriormente se realizó la salida gráfica del NBR y su correspondiente análisis.


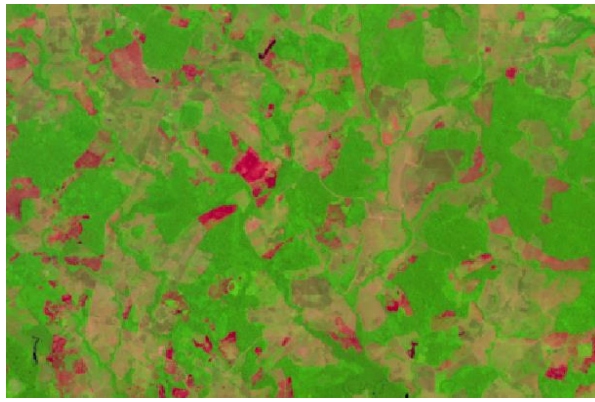
## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 2.1 FASE I: LABORES PRELIMINARES AL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES, PROCESAMIENTO Y FOTOINTERPRETACIÓN MULTIESPECTRAL.

A continuación, se presentan las imágenes resultantes de los procesos de procesamiento que involucra los métodos de realce, filtros y mejoramiento de la resolución espectral para la combinación de bandas 7,6,5 y 7,5,4

*Table 5 Combinación de bandas para fotointerpretación multiespectral*


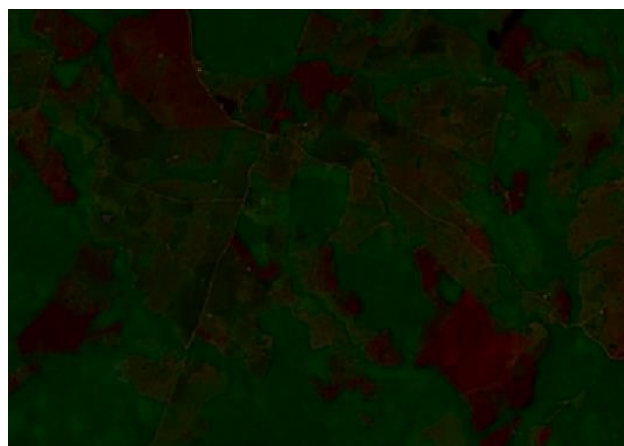
Combinación de bandas 7,6,5 Landsat 8 01/27/2020	Combinación de bandas 7,6,5 Landsat 8 16/04/2020
	

Combinación de bandas 7,5,4 Landsat 8 01/27/2020	Combinación de bandas 7,5,4 Landsat 8 16/04/2020
	

La fotointerpretación permite analizar visualmente los efectos producidos por incendios forestales a partir de la combinación de bandas multispectrales ya que muestra los cambios en la reflectividad superficial causados por la pérdida de cobertura vegetal. En la combinación 7,6,5 las zonas post-incendio se reflejan en tonalidad amarilla. La combinación 7,5,4 muestra el mismo impacto en tonalidad marrón.

Esto se debe a que el máximo exponente de estos cambios es el descenso en las regiones del visible e infrarrojo cercano y el incremento en la reflectividad del infrarrojo medio de onda corta [13-14] (Key y Benson, 2006; White et al., 1996). Con relación a la fusión de la banda 8 se puede indicar que el mejoramiento de la resolución espectral que involucra la banda pancromática permite obtener un mayor nivel de detalle sobre la imagen. Esto se debe a que la resolución espectral de las bandas compuestas (1 a 7) es de 30m y la resolución de la banda pancromática (B.8) es de 15m

*Table 6 Combinación de bandas con mejoramiento de resolución espectral*

Combinación de bandas 8,5,3 Landsat 8 01/27/2020	Combinación de bandas 8,5,3 Landsat 8 16/04/2020
	

Los colores marrones que se ven en la imagen del postincendio reflejan claramente la pérdida de cobertura vegetal, lo cual permite observar que la fusión con la banda pancromática resulta ser útil para el análisis de este evento.

## 2.2 FASE II: CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA SEVERIDAD DE INCENDIOS.

A partir del cálculo del índice de la severidad de incendios se procedió a realizar la clasificación no supervisada en la cual las clases espectrales son agrupadas primero basadas únicamente en la información numérica de los datos y son relacionadas con los rangos de la UGSS. De esta manera en el feature class se crearon los polígonos de las áreas post-incendio incluyendo la información atributiva de la clase a la cual pertenecían.

En la salida gráfica se representa el índice de la severidad de incendios para el municipio de Puerto Rico, Meta obtenido a partir de la clasificación del índice NBR. Es importante destacar que, pese a que la mayor parte del municipio se encuentra en zonas sin quemar, los valores de las áreas con incidentes de incendios son superiores a 1600 Ha lo cual significa un importante valor cuantitativo a considerar por las autoridades implicadas en la gestión territorial.

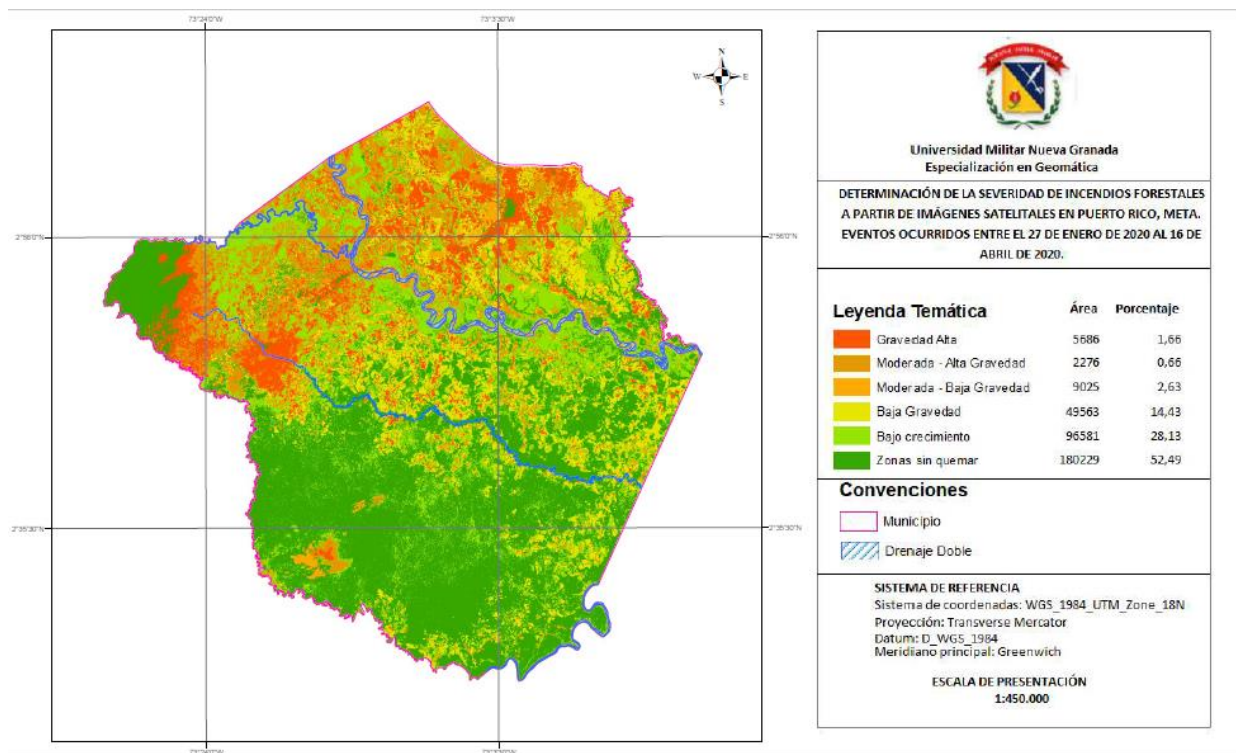


Figure 7 Salida gráfica de Índice de NBR en Puerto Rico, Meta

La aplicación de herramientas de teledetección y SIG contribuyen a la gestión del riesgo ya que permite determinar la severidad causada post-incendios, lo cual constituye una herramienta de planeación territorial para la toma de decisiones que propendan por la mitigación de impactos negativos. En el caso de estudio llama la atención que el área post incendio con mayor representatividad es la de gravedad

moderada – alta lo cual, además de ser un factor decisivo en la toma de decisiones de gestión del riesgo, puede ser resultado de la dificultad de accesibilidad a la zona teniendo en cuenta las pocas vías de tipo 1 y 2 que posee el municipio.

### 3. CONCLUSIONES

- La fotointerpretación permite analizar visualmente los efectos producidos por incendios forestales a partir de la combinación de bandas multispectrales ya que muestra los cambios en la reflectividad superficial causados por la pérdida de cobertura vegetal.
- La clasificación no supervisada es una herramienta útil en la determinación de la severidad causada por incendios forestales ya que permite la agrupación de datos basada en la información numérica de las clases espectrales como insumo para la relación con los rangos del NBR suministrados por la UGSS.
- En el municipio de Puerto Rico, Meta predominan las zonas sin quemar, sin embargo, los valores de las áreas con incidentes de incendios son superiores a 1600 Ha lo cual significa un importante valor cuantitativo a considerar por las autoridades implicadas en la gestión territorial.
- La aplicación de herramientas de teledetección y SIG contribuyen a la gestión del riesgo ya que permite determinar la severidad causada post-incendios, lo cual constituye una herramienta de planeación territorial para la toma de decisiones que propendan por la mitigación de impactos negativos

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Causas de los incendios forestales en la región caribe, andina y orinoquía de Colombia. En: [https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414\\_causas\\_incendios\\_forestales.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Los-Incendios-Forestales/250414_causas_incendios_forestales.pdf) (16 de marzo de 2020)

[2] Chuvieco E. (1996). Fundamentos de Teledetección espacial. Madrid. Ed: RIALP S.A

[3] Nieto et al., (2015) Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata. En: [https://www.researchgate.net/publication/312053858\\_ANALISIS\\_DE\\_INCENDIOS\\_FORESTALES\\_MEDIANTE\\_SISTEMAS\\_DE\\_INFORMACION\\_GEOGRAFICA\\_Y\\_TELEDETECCION\\_ESTUDIO\\_DE\\_CASO\\_EN\\_SIERRA\\_DE\\_GATA\\_2015](https://www.researchgate.net/publication/312053858_ANALISIS_DE_INCENDIOS_FORESTALES_MEDIANTE_SISTEMAS_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_Y_TELEDETECCION_ESTUDIO_DE_CASO_EN_SIERRA_DE_GATA_2015) (20 de abril de 2020)

- [4] Chuvieco E. et al., (2007) Generación de un modelo de peligro de incendios forestales mediante Teledetección y SIG. En: Revista Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional Ed. Martin, 2007, ISBN: 978-987-543-126-3
- [5] Martinez M. (2012) Cartografía de riesgo de incendios forestales aplicando sensores remotos y sig. En: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/155> (20 de abril de 2020)
- [6] Castillo M. et al., (2008) Diseño e implementación de herramientas computacionales para la prevención y combate de incendios forestales. En: <https://constructopostnormal.files.wordpress.com/2007/07/sig-e-incendios.pdf> (20 de abril de 2020)
- [7] Jia Z., Yang J., Wu X., Wang F., y Liu S. (2006). The sensitive determination of nuclei acids using a fluorescence-quenching method. *Luminescence*, 4 (21), 207-212.
- [8] Periódico del Meta (2020) Incendios amenazan al Meta. En: <https://periodicodelmeta.com/incendios-amenazan-al-meta/> Publicación 18 de febrero de 2020.
- [9] Alcaldía municipal de Puerto Rico, Meta (2020) Nuestro municipio. En: <http://www.puertorico-meta.gov.co/municipio/nuestro-municipio> (22 de abril de 2020)
- [10] Zonegis (2020). Bandas de Landsat 8. En: [https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen\\_2-3.png](https://zonegis.es/wp-content/uploads/2016/08/Imagen_2-3.png) (18 de abril de 2020)
- [11] Arenas D. (2020) Módulos de percepción remota. Universidad Militar Nueva Granada. Primer semestre de 2020.
- [12] Gis and beers (2020) Análisis de severidad de incendios con índice NBR. En: <http://www.gisandbeers.com/analisis-severidad-incendios-indice-nbr/> (01 de junio de 2020)
- [13] Key C., y Benson N. (2006). Landscape Assessment (LA). Sampling and Analysis Methods, en FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. En D. Lutes, R. Keane, y J. Caratiet (Edits.), *Integration of Standardized Field Data Collection Techniques and Sampling Design With Remote Sensing to Assess Fire Effects*. Fort: Department of Agriculture, Forest.
- [14] White J., Ryan K., y Running S. (1996). Remote sensing of forest fire. *International Journal of Wildland Fire severity and vegetation recovery*. *International Journal of Wildland Fire*, 3(6), 125-136.
- [15] Rodriguez O., Arredondo H. (2005) Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto Modis de la NASA, aplicado en estudios de ingeniería civil. En: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf> (20 de abril de 2020)