



Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Sentinel-2. Caso de estudio páramo del Almorzadero, Colombia

Methodological proposal to quantify areas affected by forest fires, using sentinel-2 satellite images. Case study at the Almorzadero paramo of Colombia.

*Edier Fernando Ávila Vélez*¹

Para citar este artículo: Ávila-Velez, E.F. (2020). Propuesta metodológica para cuantificar áreas afectadas por incendios forestales utilizando imágenes satelitales Sentinel-2. Caso de estudio páramo del Almorzadero, Colombia. *UD y Geomática*, (15), 25-32

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448407.15260>

Fecha de envío: 15 de agosto de 2019

Fecha de aceptación: 20 de diciembre de 2019

RESUMEN

La presente investigación da cuenta de cómo se determinó el área afectada por el incendio forestal presentado en el mes de febrero de 2019, en el páramo del Almorzadero, en el departamento de Santander, Colombia. Aplicando los índices radiométricos *AQ*, *NBRI* y *NDVI*, se caracterizó el comportamiento espectral o firma espectral del área quemada, además se manejó las técnicas de espectroradiometría satelital con imágenes provenientes del programa Sentinel-2. Se calculó la matriz de covarianza y la fuerza de correlación de los tres índices con el fin de realizar una composición multispectral RGB, para visualizar el contraste radiométrico de los niveles digitales, asociados a las bandas o longitudes de onda utilizadas en la investigación. Como resultado de la investigación se logró cuantificar el área afectada por el incendio en el páramo, aproximadamente 383,4 hectáreas y la mapificación o espacialización del evento. Se concluyó que al utilizar índices radiométricos a través de una composición multispectral, se facilita la interpretación visual y radiométrica de la vegetación afectada por la quema, esto debido a la variabilidad espectral que ofrecen las diferentes coberturas en función de la energía electromagnética que emiten absorbe o transmiten.

Palabras clave: Sentinel-2, índices radiométricos, espectroradiometría, teledetección satelital.

ABSTRACT

This study estimated the affected area caused by the forest fire in February 2019 in the Almorzadero paramo from Santander, Colombia. We used AQ, NBRI and NDVI radiometric indexes for characterization of the spectral behavior or spectral signature of the burned area. In addition, the satellite spectroradiometric techniques were performed with images in the Sentinel-2 program. Covariance matrix and correlation force of the radiometric indexes were calculated to define RGB multispectral composition and to visualize the radiometric contrast between digital levels and band wavelengths associated. As a result, we quantified the area affected by the fire in approximately 383.4 hectares and mapping the distribution of this event. Conclusion: By using radiometric indexes through a multispectral composition, the visual and radiometric interpretation was possible to estimate the vegetation affected by the burning. The spectral variability in different vegetal coverages affected in the paramo depends on the electromagnetic energy released which modify patterns.

Keywords: Sentinel-2, radiometric indices, radiometry spectrum, satellite remote sensing.

1 Universidad de Cundinamarca, docente investigador, Fusagasugá, Colombia. Ingeniero Catastral y Geodesta. Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica edierf@hotmail.com

Introducción

En las últimas décadas, la actividad de los incendios forestales ha aumentado drásticamente en una forma más prolongada y devastadora (Westerling, 2006), esto debido al cambio climático y a la subutilización y sobreutilización del suelo.

Se han realizado estudios acerca del comportamiento de la vegetación a nivel global, a partir de imágenes satelitales (Dwyer, 2000). Estos son de gran utilidad para modelar las emisiones debido a la quema de la biomasa.

Dada la posición geográfica de Colombia, por estar en la zona ecuatorial, recibe una mayor cantidad de radiación solar, lo cual influye en una alta temperatura superficial y puede llegar a tener, según las condiciones climáticas meteorológicas y el estado de la vegetación, una alta probabilidad de ocurrencia de incendios forestales (Cahoon Jr., 1996). A las anteriores condiciones hay que agregar las quemaduras realizadas por los campesinos generados en sus procesos productivos, cuando estas se salen de control y afectan no solamente las parcelas, sino las zonas de bosques tropicales.

Los páramos y bosques tropicales son de gran importancia para la continuidad de la vida en el planeta y el ciclo del agua (Gulh, 2016), ya que ofrecen una gran cantidad de servicios eco sistémicos invaluable, como: retención de agua en la zonas de paramo y superpáramo, las cuales recargan los mantos acuíferos; regulación del clima y microclimas de la región; captura de carbono, y refugio y hábitat para diferentes especies endémicas de dichas zonas (García, 2014).

Los incendios forestales, una amenaza latente para los ecosistemas de paramo, son tema de investigación, modelización y predicción, a partir de datos históricos geográficos; sin embargo, la predicción ha sido muy baja en términos prácticos (Vega-García, 2007).

Se han realizado estudios acerca de la variedad de flora y fauna en el páramo del Almorzadero, ubicado en Colombia, y se han encontrado especies que aún no han sido clasificadas taxonómicamente (Cleef, 1981), estas son afectadas drásticamente con eventos como quemaduras e incendios forestales dentro del área protegida, como lo sucedido el 3 de enero de 2019.

Hay varias propuestas metodológicas utilizando índices espectrales en imágenes satelitales, como el índice de áreas quemadas (IAQ) (Martin, 2001), donde proponen cartografiar áreas afectadas con imágenes NOAA-AVHRR y Landsat-T. En la metodología de Michalijos y Uboldi (2013), se identifican áreas afectadas por quemaduras a partir de índices radiométricos como el índice de vegetación (NDVI), de áreas quemadas y una clasificación supervisada, mediante el *software ENVI*, con al que se han obtenido buenos resultados.

A partir de esta revisión bibliográfica, se realizó la propuesta metodológica para identificar radiométricamente

áreas afectadas por incendios, a partir de las diferentes longitudes de onda del programa Sentinel-2, la cual contiene gran riqueza espectral en sus 13 bandas.

Zona de estudio y materiales

Para la implementación de la metodología, se analizó el área afectada en el páramo del Almorzadero, ubicado en la cordillera oriental, departamentos de Santander y Norte de Santander (Colombia), por el incendio producido el 2 de febrero de 2019. Por tal motivo, se seleccionaron dos escenas satelitales del programa Sentinel-2; la primera, antes del evento L1C_T18NYN_A009589_20190106T151702, de fecha 6 de enero de 2019, con nivel 1 de procesamiento, y la segunda, tomada después del evento con fecha 5 de febrero de 2019, también con un nivel 1 de procesamiento L1C_T18NYN_A010018_20190205T151704. Ambas imágenes se descargaron del servidor USGS¹, las cuales tienen una temporalidad muy próxima al día del evento.

Este páramo comprende un área de 156.000 ha, ubicada entre los 2800 y 4530 m s.n.m. (Corponor, 2010). En la figura 1, se observa su extensión y localización.

Metodología

La presente metodología se aplicó al incendio forestal presentado el día 3 de febrero del 2019. De las dos escenas satelitales tomadas antes y después del evento, se recortó el área afectada por la quema. Dada la resolución espectral que tienen las imágenes satelitales Sentinel-2 con 13 bandas espectrales, en el visible e infrarrojo, se logra captar gran variabilidad espectral entre las coberturas vegetales y zonas afectadas por incendios, como se observa en la figura 2 (izquierda), donde se analizó el comportamiento espectral *in situ* a partir de espectroradiometría de campo en las zonas afectadas por el evento y comparándolo con zonas de vegetación arbustiva en el páramo, paralelamente se caracterizó el comportamiento radiométrico, aplicando técnicas de espectroradiometría satelital en las coberturas de áreas calcinadas y vegetación arbustiva, en las respectivas escenas satelitales figura 2 (derecha).

A partir de la figura 2, se observó gran variabilidad espectral en la banda B4 Rojo (665 nm), B8a (865 nm) infrarrojo cercano y B11 (1610 nm) infrarrojo de onda corta, de la resolución espectral del sensor Sentinel-2. Con la anterior información se construyó las firmas espectrales, dado que los diferentes tipos de coberturas se distinguen por la reflectividad que emiten, en función de su composición química y física (Alonso, 1999), esto con el fin de implementar nuestro propio banco de firmas espectrales de las coberturas a identificar (Corrales, 2014).

1 <https://earthexplorer.usgs.gov/>

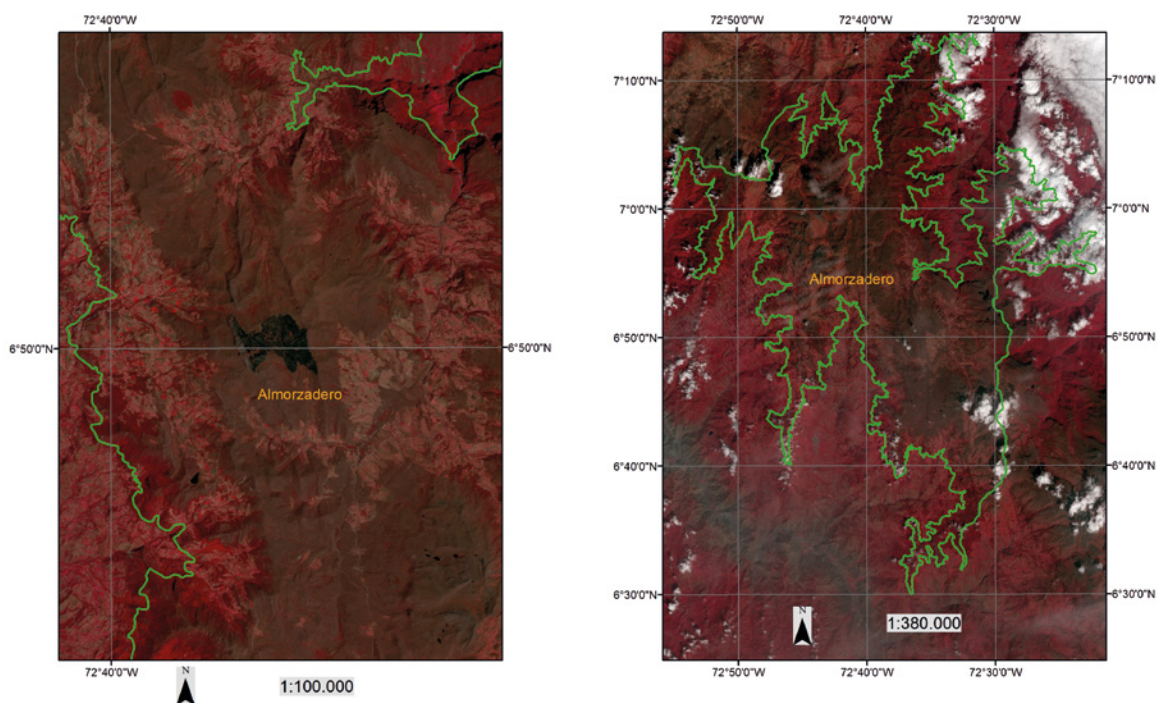


Figura 1. Izq.: zona de estudio composición RGB (843), imagen satelital Sentinel-2 (06-01-2019); der.: Sentinel-2 (05-02-2019) zona afectada.

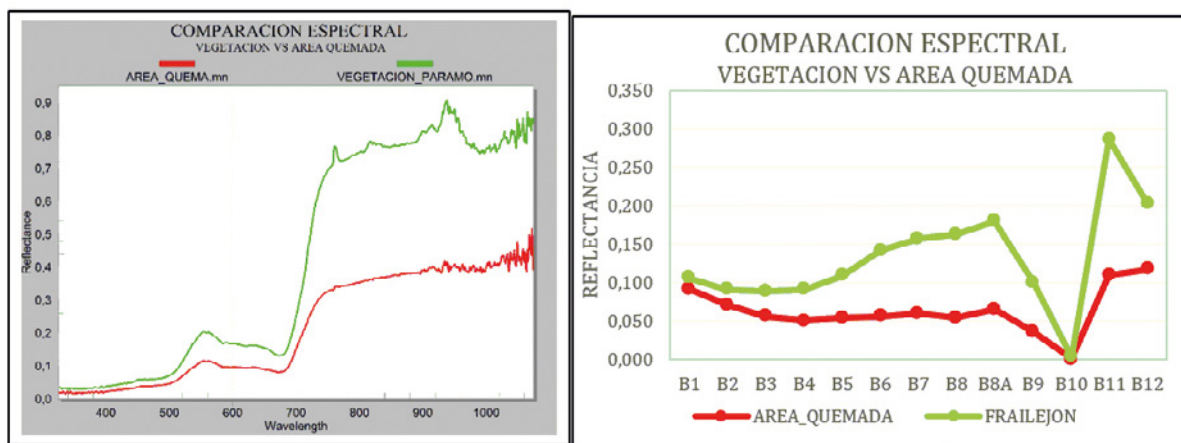


Figura 2. Comportamiento espectral por radiometría de campo y satelital.

Caracterización espectral de las coberturas.

Espectralmente, existe una mayor reflectividad en la banda B4 rojo, debido a que el sensor captura la energía reflejada por la estructura foliar de la hoja (Torres, 2009), y debido al evento del incendio forestal se pierde esta característica (Betzaida, 2012). Igualmente sucede con la banda 8a, al tener la vegetación una actividad fotosintética mayor, se genera una alta reflectividad en esta banda. En la banda B11, se puede detectar una estimación del contenido de humedad en la vegetación y detectar zonas de mayor

temperatura superficial, la cual la hace necesario en la implementación de índices radiométricos en la presente investigación.

Implementación de índices radiométricos.

En la presente investigación, se aplicaron y analizaron tres índices radiométricos, los cuales son una transformación de las magnitudes físicas capturadas por el sensor y se convierten en valores numéricos almacenados en formato

raster, que tienen por objetivo resaltar información geográfica o dinámicas espacio-temporales en función de su nivel radiométrico físico.

- Área quemada (*AQ*): este índice consiste en una operación aritmética básica, se relacionan las magnitudes físicas de las bandas B8a y B11, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta respectivamente del programa Sentinel-2.

$$AQ = \frac{B8a}{B11} \quad (1)$$

- Índice de relación de calcinación normalizado (*NBRI*): utiliza las bandas B8a infrarrojo cercano y B11 infrarrojo de onda corta, se utilizó para destacar las áreas calcinadas con la característica de que se normaliza aplicando las mismas bandas espectrales.

$$NBRI = \frac{(B8a - B11)}{(B8a + B11)} \quad (2)$$

- Índice de vegetación normalizado (*NVDI*): ha sido ampliamente reconocido por sus características diferenciales para destacar el componente de la

biomasa, es operado mediante las bandas del rojo B4 y la banda del infrarrojo cercano B8.

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)} \quad (3)$$

Este índice es muy utilizado por sus ventajas para caracterizar la vegetación fotosintéticamente activa (Chuvieco, 1990). En la figura 3, después de aplicar los tres índices radiométricos, el índice NDVI muestra una alta separación espectral de las coberturas; el índice IQ asigna valores muy bajos en la imagen, homogenizando la zona de afectación, y el índice NBRI distribuye los valores bajos en toda la zona afectada. Se visualiza también en la parte inferior derecha una composición RGB (843), que evidencia la zona de quema en el páramo del Almorzadero.

Análisis estadístico de los tres índices.

Se analizó estadísticamente la varianza y covarianza espectral de los tres índices, con una muestra de píxeles puros, donde efectivamente la cobertura obedece a vegetación calcinada, calculando la matriz de covarianza según la tabla 1.

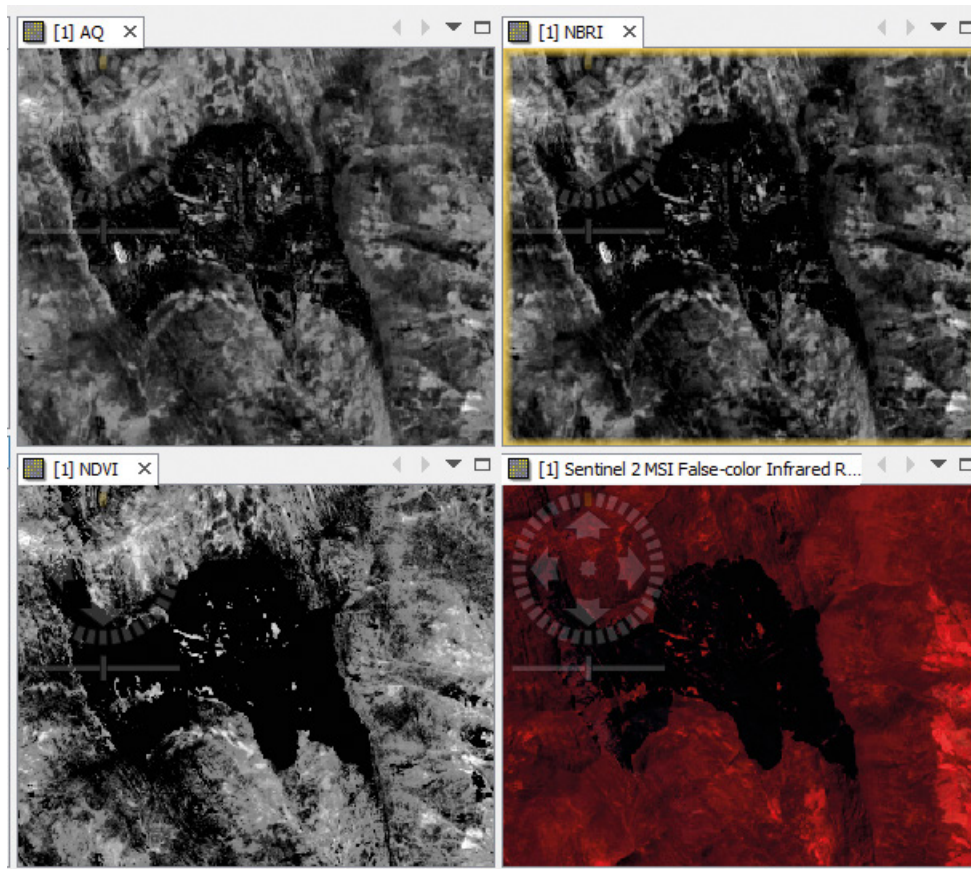


Figura 3. Visual de la aplicación de los tres índices radiométricos. Fuente: El Autor.

Tabla 1. Cálculo de la varianza covarianza de los tres índices radiométricos

	AQ	NBRI	NDVI
AQ	5,62	8,3	-0,17
NBRI	8,3	12,41	-0,41
NDVI	-0,17	-0,41	3,83

Fuente: El Autor.

También se graficaron los valores de los píxeles puros, para hallar la correlación espectral de los índices AQ-NBRI, AQ-NDVI y NBRI-NDVI (figura 4).

En la tabla 2 se observa la fuerza de correlación espectral a partir del valor de R-cuadrado, la cual muestra cómo varía, espectralmente los índices radiométricos entre sí.

Tabla 2. Cálculo de los coeficientes de R-cuadrado para cada par de índice radiométrico

Índice	R-cuadrado
AQ-NBRI	0,9845
AQ-NDVI	0,001114
NBRI-NDVI	0,00098

Fuente: El Autor.

Composición multispectral RGB a partir de los índices radiométricos.

Una vez analizados la matriz de varianza y la gráfica de correlación espectral con sus respectivos R-cuadrado, se realizó una composición multispectral RGB con los respectivos

índices radiométricos NDVI, AQ, NBRI. Dada la similitud espectral de los índice AQ y NBRI (figura 4b), y la variabilidad espectral del NDVI con los otros dos índices (figura 4c y d), se demuestra un contraste visual y espectral entre las zonas afectadas por el incendio y la vegetación de páramo (figura 5).

Cálculo de áreas calcinadas.

A partir de los datos espectrales generados de los tres índices, se realizó una segmentación o clasificación no supervisada, mediante la aplicación del algoritmo de K-medias, el más efectivo y difundido para análisis de conglomerados, el cual asigna clases o grupos en función de la distancia espectral de los píxeles (Sánchez, 2008). Como se observa en la figura 6, existe un alto contraste entre los píxeles afectados por la quema y la vegetación de páramo.

Resultados

Al aplicar la anterior metodología en el incendio forestal surgido en el páramo del Almorzadero, en febrero de 2019, se logra calcular por medio de un conocimiento científico validado, a partir de datos satelitales, la cantidad total de hectáreas consumidas por este evento: 383,4 ha. Este dato es más cercano a la realidad, según los medios de comunicación y las entidades oficiales de la zona, estimaban alrededor de 80 y 100 hectáreas (ElEspectador.com, 2019; LaOpinión.com.co, 2019).

Se obtiene también una cartografía y espacialización de la zona afectada en diferentes magnitudes de calcinación, siendo esta información de vital importancia para

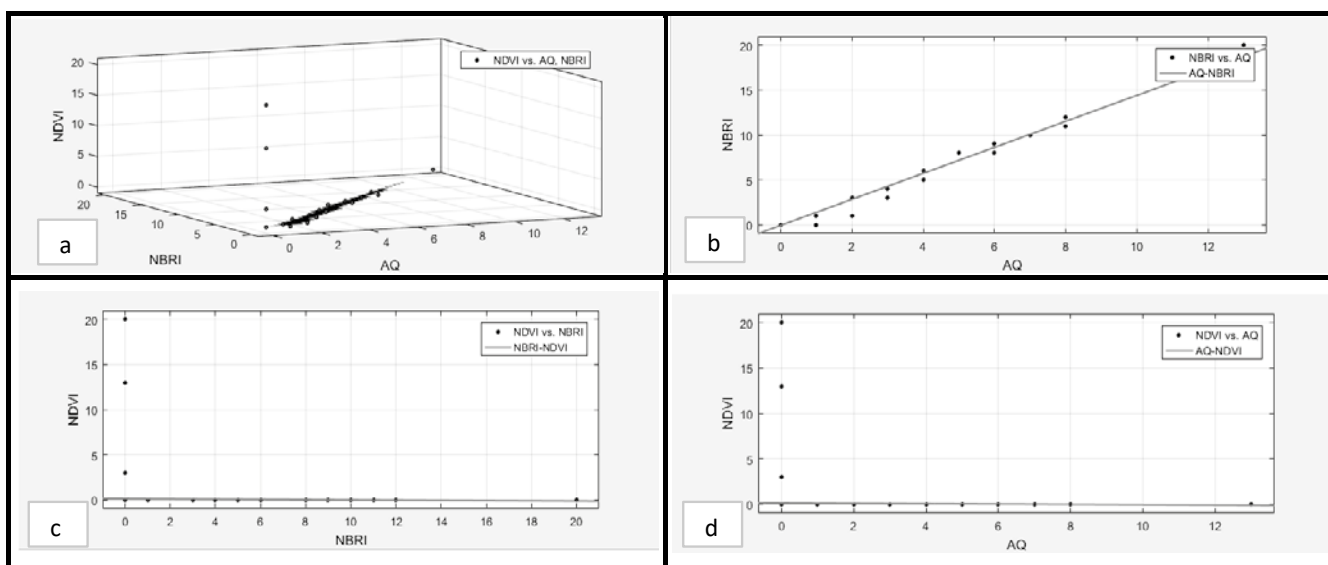


Figura 4. Correlación espectral de los índices radiométricos.

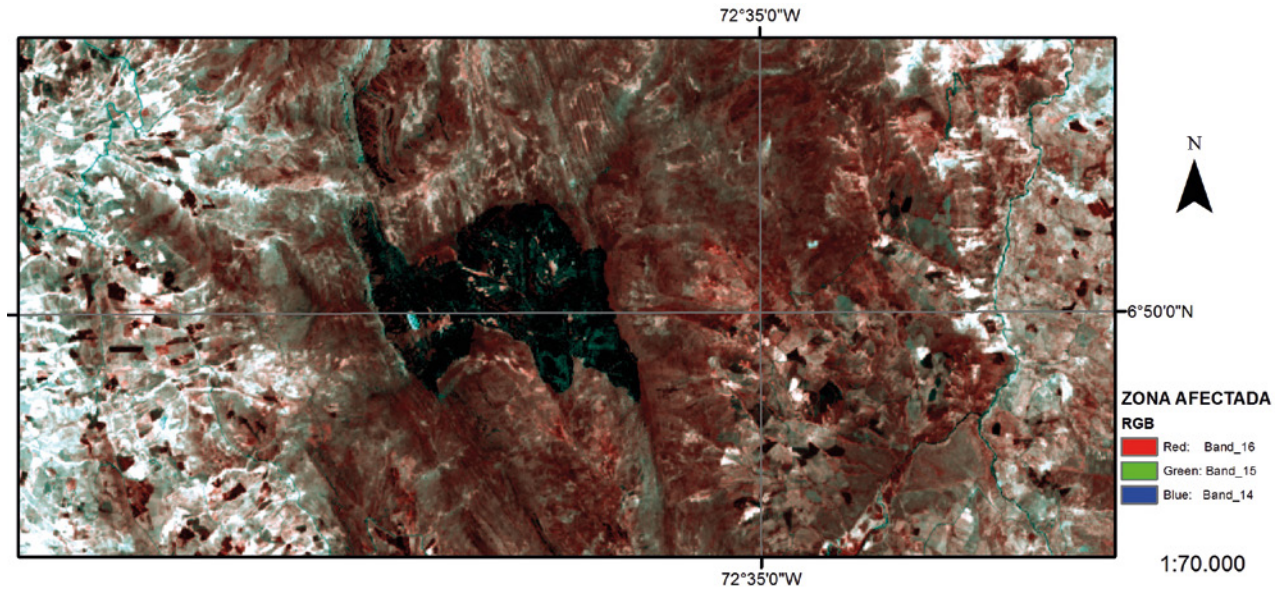


Figura 5. Visualización de la zona afectada (RGB-NDVI, NBRI, AQ).

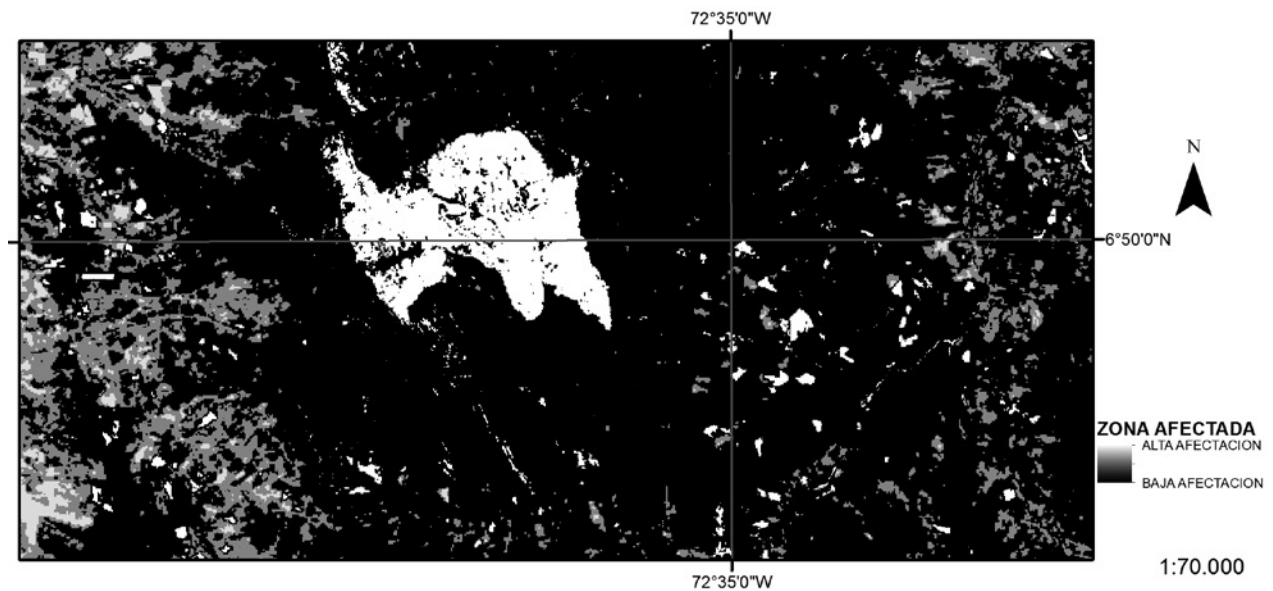


Figura 6. Visualización de la zona afectada aplicando el algoritmo de K-medias.

implementar planes de reforestación y mitigación del impacto ambiental generado en el páramo del Almorzadero.

Discusión de resultados

Debido a la interacción de la energía electromagnética con las diferentes coberturas se puede caracterizar la firma espectral o comportamiento radiométrico. Es así, que se discriminan elementos o dinámicas espaciotemporales como bosques, pastos, suelos y áreas afectadas por incendios forestales utilizando productos satelitales (Corrales,

2014). Las zonas de paramos presentan alta humedad en el ambiente, por lo cual la biomasa presente absorbe estos elementos para sus procesos fotosintéticos, dada esta actividad química se logra diferenciar claramente las áreas afectadas por las llamas en la zona de estudio. Esta actividad fotosintética, de interacción de la energía con la vegetación sana y calcinada, se aprecia en la banda espectral del infrarrojo de onda corta, denominada B11 (1610 nm). En la figura 2, se muestra una absorción de la energía en las áreas afectadas por el incendio forestal, caso contrario, donde hay una respuesta espectral alta de las zonas con vegetación propia de estos ecosistemas altitudinales.

Con los resultados, se demuestra que al relacionar los índices radiométricos NDVI, NBRI, AQ en una composición multispectral se logra contrastar la cobertura afectada por la quema y la zona de bosque de páramo (figura 5), esto debido a la variabilidad espectral de dichas coberturas (Martin, 2001), lo cual arroja resultados cuantitativos para discriminar y cuantificar el área afectada por la quema.

Con la aplicación de la metodología propuesta, se logró discriminar áreas con diferentes grados de afectación dentro de la misma área, lo cual se hace importante para mitigar los impactos al ecosistema del páramo del Almorzadero, caso similar en la investigación de Michalijos y Uboldi (2013), quienes reportan la aplicación de varios índices espectrales que involucran las bandas de rojo e infrarrojo de onda corta.

Cabe destacar que la aplicación multispectral de los tres índices también genera algunas zonas de confusión, debido a que el índice NDVI no discrimina con gran exactitud el suelo desnudo de áreas afectadas por incendios, como lo reportado por Heredia (2003).

Conclusiones

Como resultado de la aplicación de la metodología propuesta, se concluye que, para cartografiar zonas afectadas por incendios, en zonas de páramo a escala semidetallada, es conveniente utilizar imágenes satelitales del programa Sentinel-2, debido a su resolución espacial de 10 metros con resolución temporal de 5 días y resolución radiométrica de 13 bandas espectrales, para ello se propone utilizar el software SNAP², que es un paquete de procesamiento de imágenes de este sensor.

Dentro del desarrollo de la metodología propuesta, el aporte de esta investigación a los diferentes métodos, técnicas y utilización de algoritmos para identificar elementos de la cobertura terrestre a través de imágenes satelitales, consiste en la implementación de composiciones RGB mediante índices radiométricos por los diferentes canales de visualización. Debido a esta técnica utilizada en la figura 5, se pueden observar valores altos en el índice NDVI, por el cañón del rojo, y en la zona afectada por la quemadas valores bajos lo cual se refleja en tonalidades oscuras en esta zona de observación.

Referencias bibliográficas

Alonso, C.M. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación una sencilla práctica de introducción a la teledetección. En *Teledetección: avances y aplicaciones* (pp. 429-432). VIII Congreso

Nacional de Teledetección, Albacete, España. Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb99.pdf>

Betzaida, Y. (2012). *Metodología para identificar cultivos de coca mediante análisis de parámetros red Edge y espectroscopia de imágenes*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7566/1/7795080.2012.pdf>

Cahoon Jr., D.S. (1996). Monitoring the 1992 forest fires in the boreal ecosystem using NOAA AVHRR satellite imagery. *Biomass Burning and Global Change*, 2, 795-801.

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Vol. 453. Madrid: Ediciones Rialp.

Cleef, A. (1981). The vegetation of the paramos of the Colombian Cordillera Oriental. *Mededelingen van het Botanisch Museum en Herbarium van de Rijksuniversiteit the Utrecht*, 481(1), 1-320.

Corponor (2010). *Páramos: Santurbán, Almorzadero y Distrito de Manejo Integrado Páramo de Berlín*. Recuperado de <http://corponor.gov.co/es/index.php/es/estaticos/60-estaticos/660-areas-naturales-estrategicas>

Corrales, R.V. (2014). *Firmas espectrales de la cobertura de la Tierra, aplicando radiometría de campo. Fase 1: Región 03 occidente de Honduras*. Recuperado de <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/viewFile/2527/2282>

Dwyer, E.P. (2000). Distribución espacial y temporal global del fuego de vegetación según lo determinado a partir de observaciones satelitales. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1289-1302.

García, H. (2014). *Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas*. Repositorio Fedesarrollo. Centro de Investigación Económica y Social. Recuperado de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/337>

Gulh, E. (2016). *Colombia: bosquejo de su geografía tropical*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional.

Heredia, Á.M. (2003). Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM+. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (3), 216-234.

LaOpinión.com.co (6 de febrero de 2019). *Incendio afectó al páramo Almorzadero*. Recuperado de <https://www.laopinion.com.co/zona-verde/incendio-afecto-al-paramo-almorzadero-170854#OP>

Martin, M. y. (2001). Propuesta de un nuevo índice para cartografía de áreas quemadas: aplicación a imágenes NOAA-AVHRR y Landsat- TM. *Revista de Teledetección*, 16, 57-64.

Michalijos, M. y Uboldi, J. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios

2 <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-2>

- mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Geografía Norte Grande*, 56, 223-234.
- ElEspectador.com (6 de febrero de 2019). *Emergencia ambiental: Incendio en el páramo del Almorzadero afectó 80 hectáreas de bosque*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/santander/emergencia-ambiental-incendio-en-el-paramo-del-almorzadero-afecto-80-hectareas-de-bosque-articulo-838174>
- Torres, L. (2009). Characterization of the Spectral Signature from Remote Sensors for the Management of Plant Health in the Oil Palm. *Crop Intro*, 30(3), 63-79.
- Vega-García, C. (2007). *Propuesta metodológica para la predicción diaria de incendios forestales*. 4th International Wildland Fire Conference. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, C/ Gran Vía de San Francisco 4, Madrid-28005, España. ISBN: 978-84-8014-690-6. 13-17. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267564923_Propuesta_metodologica_para_la_prediccion_diaria_de_incendios_forestales
- Westerling, A. H. (2006). El calentamiento y la primavera anterior aumentan la actividad de incendios forestales en el oeste de los Estados Unidos. *Science*, 313(5789), 940-943.

