

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8*

IDENTIFICATION OF AREAS AFFECTED BY FOREST FIRES USING SATELLITE IMAGERY LANDSAT 8

Santiago Mena López¹

¹ Escuela de Ciencias Geográficas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Apartado Postal 17-01-2184. Correo electrónico: srmena@puce.edu.ec

Resumen

En este trabajo se revisan los procesos utilizados para la evaluación del área afectada por el incendio forestal ocurrido el 25 de agosto de 2015 en el Volcán Ilaló, se utilizaron imágenes del programa *Landsat Data Continuity Mission* captadas el 30 de octubre de 2014 y 15 de septiembre de 2015. La técnica desarrollada permitió la producción de mapas de detalle intermedio de áreas afectadas por incendios, basadas en el establecimiento del umbral del BAI (*Burned Area Index*) y de la estimación del NBR (*Normalized Burn Ratio*). De su comparación, se estableció que las áreas de afectación obtenidas con el índice BAI, difieren de las derivadas con el coeficiente NBR en un 8,5%. A los métodos evaluados se los encontró interesantes particularmente por los siguientes motivos: la evaluación del área afectada resultó práctica y posible, con un tiempo de procesamiento expedito y sin precisar de datos de comprobación en campo. Por su lado, los resultados logrados denotan una efectiva utilidad en la producción de insumos cartográficos locales y de apoyo en la toma de decisiones para la evaluación, monitoreo y regeneración de áreas afectadas por incendios forestales.

Palabras clave: incendio forestal, índice espectral, Landsat 8.

Abstract

This paper reviews the processes used to evaluate the areas affected by the forest fire occurred on August 25th 2015 in Ilaló Volcano, images Landsat Data Continuity Mission captured on October 30th 2014 and September 15th 2015, program were used. The developed technique allowed the production of intermediate detail maps of burnt areas, based on the establishment of BAI threshold (Burned Area Index) and the estimate of NBR (Normalized Burn Ratio). From their comparison, it was established that the areas of affectation obtained with the BAI index differ from those derived with the NBR coefficient by 8.5%. The methods evaluated were particularly interesting for the following reasons: the evaluation of the affected area was practical and possible, with an expedited processing time, and without requiring field verification data. On the other hand, the results obtained denote an effective utility in the production of local cartographic inputs and as support in the decision making for the evaluation, monitoring and regeneration of areas affected by forest fires.

Key words: forest fire, spectral index, Landsat 8.

1. Introducción

Los incendios forestales representan uno de los problemas de seguridad más importantes, su presencia y recurrencia conllevan importantes pérdidas económicas, sociales y ambientales (González et al., 2007: 1). Recurrentes episodios, así como su continua incidencia demandan la necesidad de identificar y monitorear los sitios por estos afectados. En las zonas rurales este fenómeno generalmente se produce por causas naturales "vinculadas a la presencia de vegetación seca con alta incidencia de combustibilidad, relacionada con factores meteorológicos, como sequías prolongadas o descargas eléctricas por rayos y la topografía del sitio"; o también por actividades antrópicas como: "los emplazamientos de instalaciones, eventos maliciosos o actividades particulares, como trabajos y recreación" (Estacio y Narváez, 2012: 29).

En la detección e identificación de áreas afectadas por incendios forestales, el uso de métodos tradicionales como los levantamientos en terreno, así como la disponibilidad de estadísticas válidas y precisas (para evaluar las pérdidas económicas, los efectos ecológicos, el monitoreo de los cambios en los usos de la tierra y los impactos que producen en el clima), resultan costosos y lentos. Los sistemas de posicionamiento global acoplados a plataformas aeroportadas (helicópteros) son una alternativa viable, pero su utilidad se circunscribe a la identificación de las márgenes externas de las áreas

* Datos procesamiento artículo

Recibido: 19 de Junio de 2017

Corregido: 29 de Agosto de 2017

Aceptado final: 4 de Septiembre de 2017

afectadas y su efectividad depende de su accesibilidad, disponibilidad y de la pericia del piloto (García y Chuvieco, 2004), citado en (Gajardo et al., 2009: 109).

Según Robinson (1991), citado en (Martín y Chuvieco, 2001) en teledetección otro de los problemas en el reconocimiento espectral de áreas afectadas por incendios es la separación entre la señal post-incendio (superficies recientemente quemadas, cenizas y carbón depositado) y la firma espectral producida como consecuencia de la pérdida o deterioro de la masa vegetal afectada por el fuego, la cual es más estable en función del tipo de vegetación, clima, tiempo entre la quema, tipo de ecosistema, etc. (Fuentes, 2015). La desaparición o el deterioro de la primera puede deberse a razones distintas a la ocurrencia del incendio (intervención, evolución fenológica, plagas, sequías, especie, etc.); por su parte, las áreas quemadas pueden presentar valores de baja "reflectividad en las bandas visible, infrarrojo próximo y medio, similares a las que podemos encontrar en láminas de agua o zonas en sombra topográfica" (Martín y Chuvieco, 2001: 59).

En Ecuador, al 15 de diciembre de 2016 a nivel nacional se reportaron al menos 787 eventos de incendios forestales (mayores a 5 hectáreas), como los causantes de la destrucción de aproximadamente 21.850 ha de cobertura vegetal; según el diario El Telégrafo (2015) varios de estos eventos ocurrieron al interior de áreas protegidas (R.E. Arenillas, R.E. El Ángel, B.P. Paschocha, R.F. Chimborazo, P.N. Sangay), ocasionando una pérdida de bienes materiales estimada en alrededor de \$9,5 millones de dólares (El Universo, 2015). Las provincias de Loja (144 eventos, 6.325 ha), Manabí (117 eventos, 2.883 ha), Azuay (123 eventos, 2.868 ha), Chimborazo (56 eventos, 2.498 ha) e Imbabura (55 eventos, 1.430 ha), cuentan entre las zonas más afectadas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017) debido a la destrucción de vastas áreas de bosque nativo, pajonales, pastizales, chaparro, páramos, coberturas naturales que son el hábitat de varias especies de fauna como: cóndores, curiangués, conejos, venados, lobos, zorrillos, ratones, chucuris y de otros tipos de vida silvestre menor.

Según publicaciones del diario El Comercio (2015, 2016) en la ciudad de Quito capital del Ecuador en los últimos años y hasta la actualidad los incendios forestales se han convertido en uno de los principales problemas ambientales, registrando la pérdida de al menos: 862,2 ha en 2013; 594,5 ha en 2014; 2.668,2 ha en 2015 y 121 ha en 2016. Para este último periodo, los sitios de mayor recurrencia fueron: volcán Illaló (174 ha), Cruz Loma (33 ha), sector Facultad de Agronomía UCE (95 ha), cerro Auqui (60 ha), Lloa (49 ha), El Quinche (115 ha), San José de Minas (225 ha); entre estos, el sector de Chiviquí-Carbonero (ubicado en el cerro Illaló, sitio escogido como área de estudio en este manuscrito), fue afectado por la destrucción de cerca de 174 ha, registrando al evento ocurrido el 25.08.2015 como el "de mayor fuerza en todo el año y el de mayor complicación en los últimos cinco" (El Universo, 2015).

La sostenida recurrencia de estos eventos como consecuencia han afectado variadas formas de producción agrícola y/o silvicultura, así como importantes áreas cubiertas de vegetación herbácea (páramos), arbustiva (matorrales), arbórea (bosques húmedos y secos) de gran valor natural y social por su biodiversidad. Entre las principales causas que provocan la mayoría de los eventos, entre otros se reportan aquellas relacionadas con: los cambios en el uso del suelo, la expansión urbana y la búsqueda de fuentes económicas en espacios periféricos de la ciudad, anteriormente inaccesibles o marginales (Estacio y Narváez, 2012).

Frecuentemente las zonas afectadas por incendios forestales suelen ser bastas y limitadas en cuanto a su accesibilidad, por lo que abordar su estimación utilizando técnicas de teledetección ha demostrado ser una alternativa rápida, fiable y económicamente viable, pues permiten recopilar información en forma oportuna y de manera metódica (Pereira et al. 1999), citado en (González et al., 2007: 1); luego, disponer de referencias cartográficas de pronta respuesta para la identificación de áreas quemadas a escalas medias locales, sugieren ser relevantes en las tareas requeridas para lograr su efectiva evaluación, monitoreo y eventual regeneración.

2. Métodos

2.1. Área de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ubicado en la provincia de Pichincha, centro norte de la región Sierra del Ecuador (Figura 1), cubre una extensión territorial de 423.183 ha (Ilustre Municipio de Quito; Ecopar; Climate y Development Knowledge Network, 2015); a su interior el volcán Illaló localizado entre las coordenadas 00°15'44"S y 78°25'07"O, con una altura de 3.169 msnm y una diámetro de base de aproximadamente 8 km separa a los valles de Los Chillós y Tumbaco.

El cerro representa un estrato volcán de tamaño medio, fuertemente erosionado y cubierto por cangahua. Los suelos de origen volcánico a lo largo del tiempo, han sido afectados por varios e intensos procesos de explotación inadecuada y no controlada, lo que sumado al continuo deterioro y pérdida de vertientes de agua superficiales y subterráneas, han ocasionado sequías y una importante disminución de su cubierta vegetal (Hall, 1977). De acuerdo al Plan de Uso y Ocupación del Suelo del MDMQ, el Illaló se categoriza como Área Natural (Bosque y Vegetación protectora) y conforma parte de los 8 bloques de vegetación que protegen de la capital (EMAAP-Q, PSA, 2006).

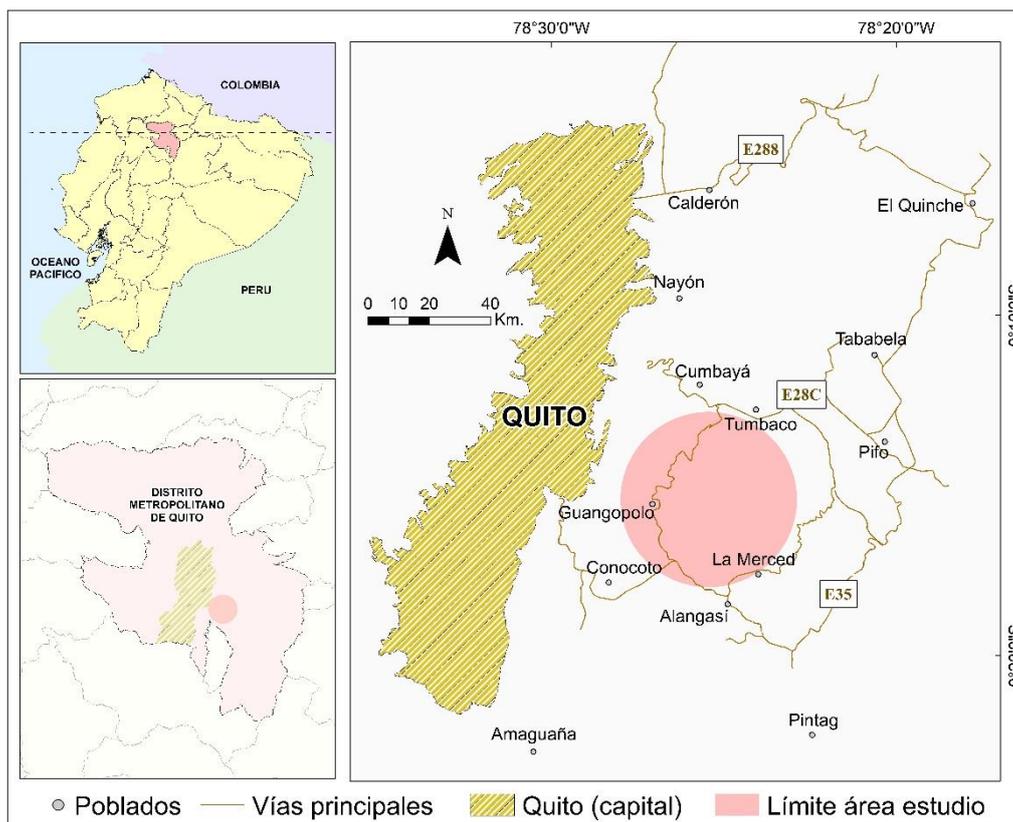


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el contexto nacional.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Técnicas

El programa LDMC Landsat Data Continuity Mission denominado Landsat 8 tras su lanzamiento en febrero de 2013, es el octavo satélite de observación de mediana resolución de esta serie; la plataforma cuenta con dos instrumentos de barrido para la percepción terrestre: el primero denominado Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS) que recogen aproximadamente 400 escenas al día, disponibles para su descarga en el servidor de la USGS 24 horas después de su adquisición (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013). LDCM permite la captura de geodatos en 9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30m para las bandas 1 a 7, y 9 de 15m para la banda 8 – pancromática; adicionalmente posee 2 bandas térmicas 10 y 11, con capacidad de proporcionar la temperatura de la superficie (USGS, 2015).

Para exponer la aplicación del Índice de Área Quemada (*Burned Area Index* - BAI) y del cociente Normalizado de Quema (Normalized Burn Ratio – NBR), se escogió como caso de estudio el incendio forestal ocurrido en el Ilaló el 25.08.2015. Para su demostración se seleccionaron dos imágenes Landsat 8 del sensor OLI (path-10/row-60) con un nivel de procesamiento L1T; la primera anterior al evento captada el 30 de octubre de 2014, con la finalidad de establecer de forma general cuáles fueron los tipos de cobertura afectados y la segunda posterior al evento receptada el 15 septiembre de 2015, con el propósito de establecer por comparación las diferencias de segmentación entre los valores derivados de la aplicación del coeficiente NBR entre las imágenes de ambas fechas. Utilizando los programas ArcGIS y ENVI, a continuación se detalla el flujo de procesos ejecutados sobre una sub escena de 635 columnas x 635 líneas (9.000 ha aproximadamente) extraída para enmarcar referencialmente la zona de interés en estudio.

2.2.1. Corrección Radiométrica

Previo al análisis de ambas sub escenas, con el objetivo de minimizar distorsiones relativas al sensor (Gajardo et al., 2009: 112), los niveles digitales (ND) disponibles en formato no cifrado se sometieron a procesos de corrección radiométrica utilizando las ecuaciones 1 y 2. El procedimiento consiste en realizar la calibración del sensor transformando los ND a valores de radiancia, re escalándolos y aplicando adicionalmente correcciones atmosféricas en el techo de la atmósfera (Top Of Atmosphere - TOA) para determinar los valores resultantes de reflectancia correspondientes (USGS, 2015).

$$L\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Donde:

$L\lambda$ = Valor de radiancia espectral TOA, medida en (watts /m² * srad * μ m).

M_L = Factor multiplicativo de escalado específico radiance_mult_band, (según el número de banda).

A_L = Factor aditivo de escalado específico radiance_add_band, (según el número de banda).

Q_{cal} = Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN).

$$p\lambda = \frac{p\lambda'}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{p\lambda'}{\sin(\theta_{se})} \quad (2)$$

Donde:

p = Valor de reflectancia planetaria o en TOA, con corrección por ángulo solar.

θ_{se} = Ángulo de elevación solar.

θ_{sz} = Ángulo solar cenit local.

2.2.2. Índices espectrales

Una vez minimizadas las perturbaciones que pudiesen afectar, mediante la división pixel a pixel de los niveles digitales entre las dos bandas y para cada imagen, se calculan dos índices espectrales a partir del cómputo de los valores de reflectividad registrados en las longitudes de onda del rojo (R - sensible al agua en el suelo y la vegetación), infrarrojo cercano (IR - sensible al agua en el suelo y la vegetación) e infrarrojo de onda corta (SWIR - sensible a la vegetación no fotosintética en un entorno post-incendio), con el objetivo de extraer información relacionada con el comportamiento de los distintos tipos de coberturas.

Índice de Área Quemada

El BAI definido por Martín y Chuvieco (1998), constituye un parámetro de utilidad para discriminar el área afectada por el fuego por sobre otras coberturas; su principio se basa en los rangos espectrales propios de los materiales carbonizados y de las cenizas producidas tras un incendio, reconocibles mediante el relacionamiento de los valores de reflectancia de las bandas del rojo e infrarrojo cercano. El BAI mide la similitud espectral entre cada píxel de la imagen y un punto de convergencia referencial hacia el que tendería una zona quemada en donde domine la señal del carbón y en donde el valor del índice será mayor, tanto en cuanto menor sea la distancia espectral a esa cubierta (Martín y Chuvieco 2001), citado en (Michalijos y Uboldi, 2013). Para el cálculo del BAI se utilizó la ecuación 3.

$$IAQ = \frac{1}{((R_q - R)^2 + (IRC_q - IRC)^2)} \quad (3)$$

Donde:

IRC: banda del infrarrojo cercano.

R: banda del rojo.

q : reflectividad de referencia de una zona quemada conocida.

Cociente Normalizado de Quema

El coeficiente NBR definido por Key y Benson (1999), citado en (Fuentes, 2015), considera el relacionamiento de las bandas NIR y SWIR como un cociente normalizado tipo NDVI (Gómez y Martín, 2008; Gajardo et al., 2009), que constituye un típico parámetro de referencia para el reconocimiento de áreas directamente afectadas (tanto por las llamas como por el calor de un incendio); su aplicación requiere de la comparación de los valores de reflectancia de las coberturas afectadas obtenidas (post

incendio), respecto de los de las áreas correspondientes en otra imagen de fecha anterior (pre incendio). El NBR se calcula mediante la ecuación 4.

$$NBR = \frac{p_{IRC} - p_{SWIR}}{p_{IRC} + p_{SWIR}} \quad (4)$$

Donde:

IRC: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.

SWIR: reflectividad en la banda del infrarrojo de onda corta.

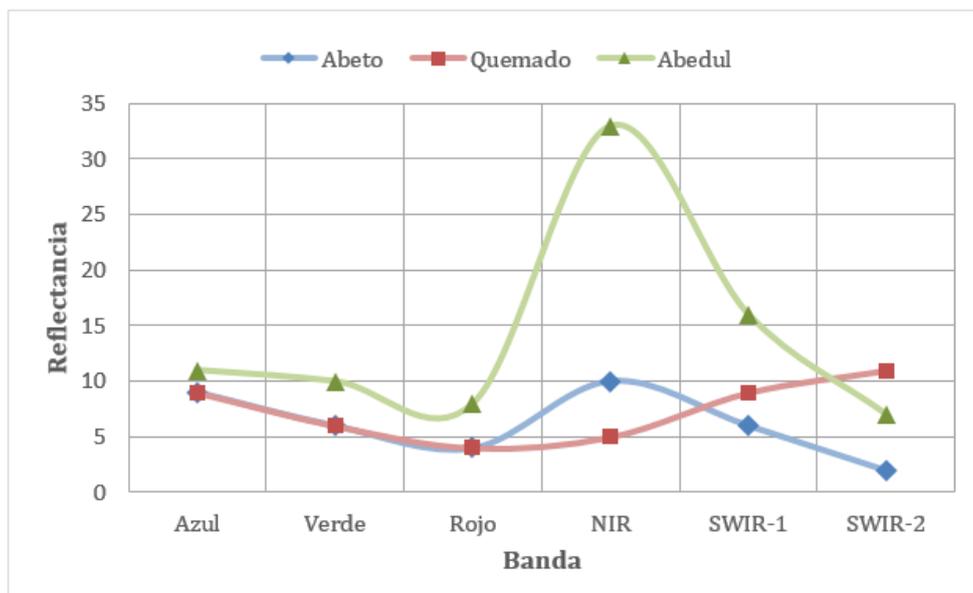


Figura 2. Comportamiento espectral del NBR en áreas quemadas para tres tipos de coberturas. Fuente: Remote Sensing, 2014.

En la Figura 2 se ilustra el reconocimiento del comportamiento espectral particular para el NBR, el cual registra una baja reflectancia en la banda del infrarrojo cercano NIR, como efecto de la acción del fuego a medida que el dosel de los árboles se consume (Remote Sensing, 2014). Nótese el patrón de comportamiento espectral en el rango del SWIR-2, el mismo que se evidencia de modo opuesto; es decir, a medida que el entorno afectado se torna cada vez más seco en la porción del espectro del infrarrojo de onda corta, se reconoce un importante incremento de los valores de reflectancia.

2.2.3. Clasificación No Supervisada

Con la finalidad de identificar y cuantificar de forma general los tipos de cobertura que fueron afectadas por el evento de incendio, se aplica el método de clasificación digital para imágenes satelitales denominado 'no supervisado'. En este tipo de clasificación "...la identidad de tipos de cobertura a ser clasificados no es conocida de antemano ya que no se tiene datos de control de campo..."; para lograr este cometido el ordenador "agrupa píxeles con características similares (clusters) de acuerdo con criterios determinados estadísticamente" (Jahne, 1991), citado en (Berd, 2008:17).

La clasificación de los píxeles se establece mediante el algoritmo denominado ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), método que utiliza las distancias espectrales existentes en el set de datos de interés, e iterativamente clasifica los píxeles redefiniendo sus criterios respecto de cada clase y asignándolos a una determinada categoría (Tou y González, 1974), citado en (Berd, 2008:17). La Figura 3, ilustra la distribución de los usos y coberturas identificados al interior del área de interés, la cual al 30.10.2014 acogía una ocupación de: vegetación arbórea 11%, arbustiva 32%, herbácea 37% y otros 20%, aproximadamente.

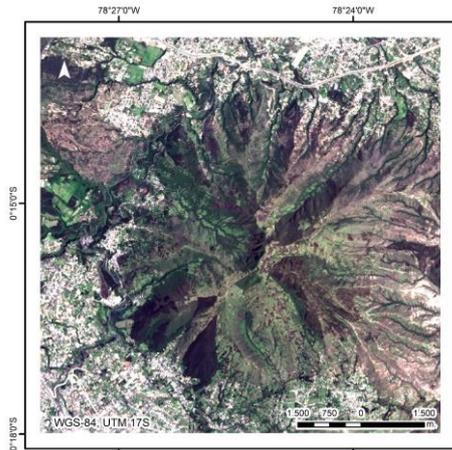


Figura 3. Composición color verdadero - imagen 30.10.2014.
Fuente: Elaboración propia.

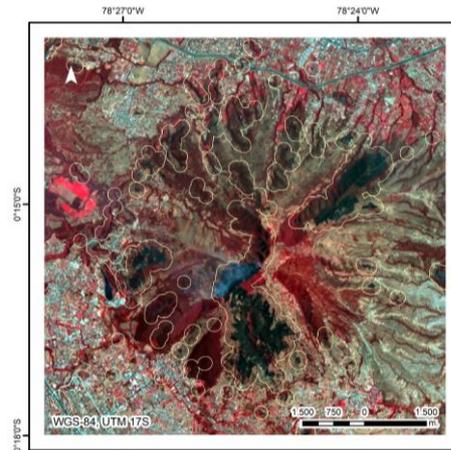


Figura 4. Aproximación visual de áreas quemadas (manchas verde oliva) Composición CIR - imagen 15.09.2015.
Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

3.1. Límites del área de afectación

Utilizando una imagen compuesta de falso color infrarrojo (CIR) del 15 de septiembre de 2015, se estableció una aproximación visual inicial de las coberturas afectadas por el incendio ocurrido el 25 de agosto de 2015 en el sector de Chiviquí-Carbonero en el volcán Ilaló. Esta capacidad de discriminación, adicionalmente se aprovechó para establecer las presumibles superficies afectadas por incendios forestales (polígonos en amarillo alrededor de las manchas verde oliva, que cubren 2.000 ha aproximadamente), respecto de las cuales, posteriormente se comparan las efectivamente afectadas, obtenidas mediante la aplicación de los índices en discusión.

En esta composición el canal del infrarrojo cercano (5) es especialmente importante para la ecología porque la vegetación sana se refleja y se enfatiza el contenido de biomasa, el del rojo (4) discrimina la vegetación y el del verde (3) destaca el vigor de las plantas. En la Figura 4, nótese cómo la vegetación aparece en color rojo, siendo más vibrante aquella sin afectación; por su lado las coberturas afectadas por el incendio aparecen en color verde oliva oscuro.

La Figura 5 muestra los resultados del proceso de segmentación de la aplicación del índice BAI calculado para la imagen Landsat del 15.09.2015; a partir del cual la cobertura áreas de afectación en formato vector y estructura poligonal se generó para el intervalo $100.000 \leq 1e+9$, categorías 'no quemado' y 'quemado' (manchas en negro oscuro) respectivamente. Complementariamente, utilizando el método de clasificación estadístico 'cuantiles', los valores respectivos se categorizaron en tres clases (alto, medio y bajo). En la Figura 6 se detalla el resultado de la sobreposición de la cobertura vector resultante en la imagen CIR.

3.2. Aplicación del índice BAI

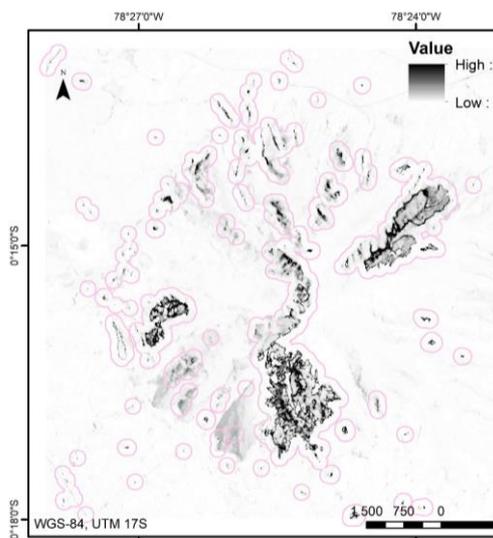


Figura 5. Áreas quemadas (manchas en negro) según segmentación del índice BAI - imagen 15.09.2015.

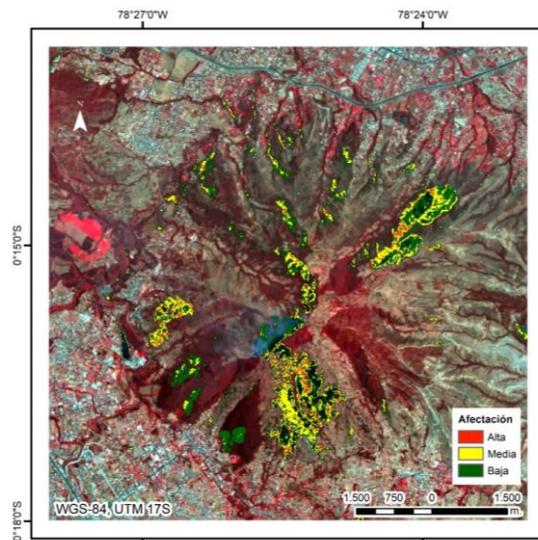


Figura 6. Identificación de áreas de afectación según índice BAI - imagen 15.09.2015. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Aplicación del coeficiente NBR

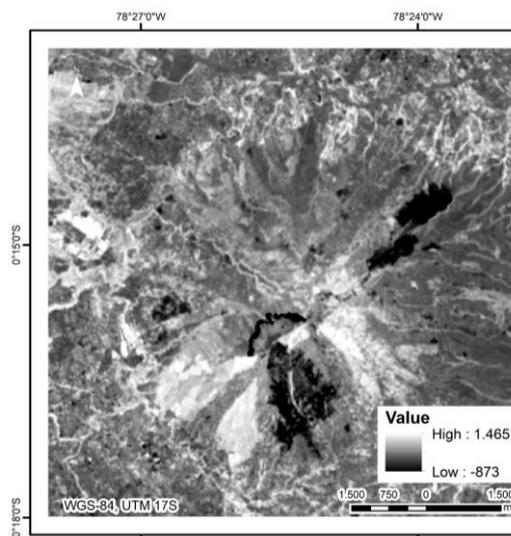


Figura 8. Áreas quemadas (manchas en negro) segmentación post evento según coeficiente NBR - imagen 15.09.2015. Fuente: Elaboración propia.

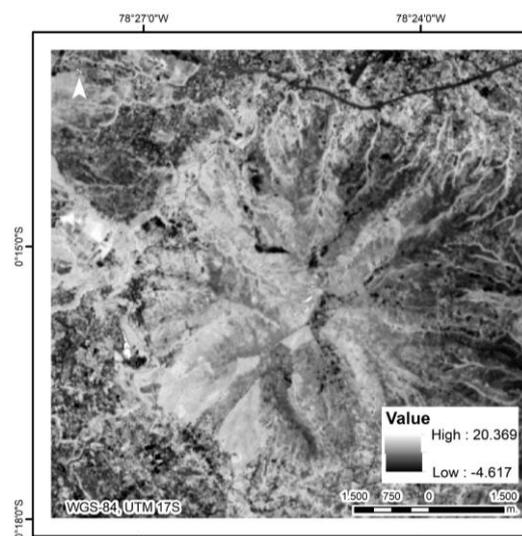


Figura 7. Segmentación pre evento según coeficiente NBR - imagen 30.10.2014 Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 7 y 8 aparecen los resultados de aplicar el coeficiente NBR calculado para las imágenes pre y post-incendio; la Figura 9 ilustra la imagen de diferencia de valores de reflectancia obtenidos entre las dos imágenes procesadas. En este caso el límite de segmentación establecido para las categorías 'no quemado' y 'quemado' (manchas en negro oscuro) fue el intervalo $\leq 450 \leq 20.000$ respectivamente; en la Figura 10, se muestra la imagen CIR con las áreas afectadas obtenidas. Del mismo modo y como se explicó anteriormente, para fines de comparación los resultados obtenidos se superponen espacialmente, se genera la cobertura de áreas de afectación y los valores respectivos se categorizaron en tres clases.

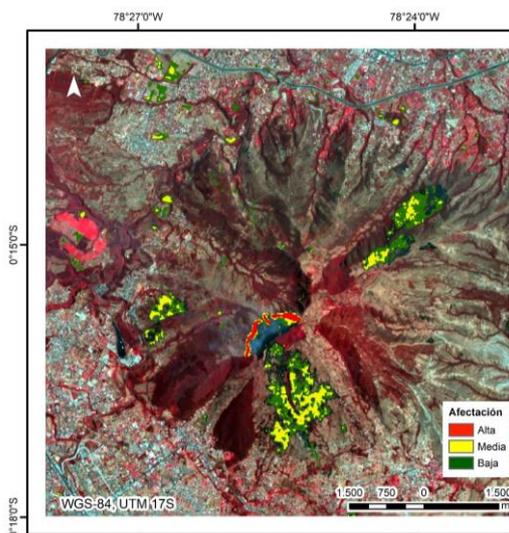


Figura 10. Áreas quemadas según coeficiente NBR - imagen 15.09.2015.
Fuente: Elaboración propia.

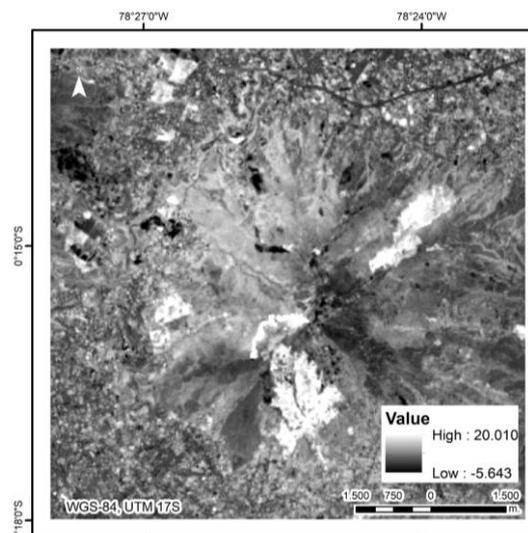


Figura 9. Diferencias de segmentación para coeficiente NBR - imágenes 30.10.2014 - 15.09.2015
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1. Estimación comparativa de superficies de áreas afectadas por incendios forestales según el índice BAI y el coeficiente NBR.

Técnica		Superficie	
		ha	%
Burned Area Index	(BAI)	434,16	21,2
Normalized Burn Ratio	(NBR)	259,04	12,6
Diferencia	BAI	175,12	8,5
Coincidencia	NBR	164,97	8,1
Área afectación supuesta		2.049,03	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Estimación de áreas afectadas por tipo de cobertura según el índice BAI y el coeficiente NBR.

Superficie de afectación efectiva	Tipo de Cobertura	Área			
		BAI		NBR	
		ha	%	ha	%
Arbórea	Ar	150,66	34,3	34,2	13,5
Arbustiva	Av	180,00	41,0	131,22	51,9
Herbácea	Hb	101,70	23,1	87,39	34,6
Otra	Ot	7,02	1,6	0,09	0,0
Total		439,38	100	252,90	100

Fuente: Elaboración propia.

Respecto del área de afectación referencial establecida inicialmente, en el Cuadro 1 se resumen las diferencias en superficie entre las áreas de afectación obtenidas de la aplicación del índice BAI y las del coeficiente NBR. De su comparación se establece que las áreas de afectación obtenidas con el índice BAI, difieren de las derivadas con el coeficiente NBR en un 8,5% y que coinciden en un 8.1%. Para cada uno de los índices evaluados, en el Cuadro 2 se detallan por tipo de cobertura, las áreas y los respectivos porcentajes de las áreas de afectación correspondientes.

4. Discusión

El uso de la información procedente del sensor OLI del satélite Landsat 8, resultó eficiente en la obtención del índice BAI y la estimación del cociente NBR. La diferencia en las superficies obtenidas entre los dos indicadores evaluados, se debe al valor límite de los umbrales estimados, a partir de los cuales se establece el corte para la identificación de los píxeles considerados como afectados directa o indirectamente por los efectos (llamaradas o calor) de un evento de incendio forestal.

Al no ser un índice ortogonal, sino un cociente entre bandas, el NBR a diferencia del BAI, no presenta el inconveniente de ser muy dependiente de la radiometría de la imagen (Martín y Chuvieco, 1998: 118); la concentración de valores altos en áreas aún en proceso de extinción del fuego (humo en el centro de la imagen), informa claramente acerca de la efectividad de este cociente para estimar la inclemencia latente del evento de incendio. Según (Csiszar et al., 2004; Pereira et al., 1999), citado en (Gajardo et al., 2009) el NBR es de mayor utilidad en la “representación del área quemada y severidad del fuego”

En la aplicación del BAI, se observa que en ciertos casos el índice incluye píxeles identificados como áreas quemadas a algunos ubicados en zonas urbanas, matorral o pasto, lo cual puede deberse a que la radiometría de la imagen podría verse afectada por distintas condiciones atmosféricas y/o de geometría

de la iluminación y la observación (Martín y Chuvieco, 2001). Mediante simple inspección visual, se puede establecer que sus resultados se corresponden de mejor manera con la realidad observada sobre las áreas efectivamente afectadas por el evento de incendio (machas verde oliva al sur y oriente de la imagen), e incluye a aquellas que en el pasado cercano fueron afectadas por eventos similares (machas verde oliva al norte y occidente de la imagen).

5. Conclusiones

- La evaluación del área afectada por el incendio del 25 de agosto de 2015, resultó práctica y posible.
- Los resultados de la aplicación de los índices evaluados, aportan con referencias cartográficas de pronta respuesta efectivas, para la identificación de áreas quemadas.
- Los resultados obtenidos sirven de apoyo a la toma de decisiones requeridas para la evaluación, monitoreo y recuperación de áreas afectadas por incendios forestales.

6. Agradecimientos

Este trabajo se elaboró en el contexto de los proyectos de vinculación comunitaria que anualmente la Escuela de Ciencias Geográficas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, lleva a cabo en su gestión de apoyo a la colectividad.

7. Referencias

- BERD, Rebecca (2008). Taller: Introducción a Aplicaciones de Técnicas Espaciales para la Conservación de la Biodiversidad. Módulo sobre teledetección y análisis de cambio de usos y cobertura de la tierra. MyCOE. Panamá.
- ECUADOR. SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS (2017). Informes de situación - *Incendios forestales 2016*. Recuperado el 22 de 03 de 2017, de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-incendios-forestales-2016/>
- El Comercio (22 de 09 de 2015). *En este verano se consumieron más áreas verdes de Quito en relación con 2013 y 2014*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/verano-incendios-areasverdes-quito.html>
- El Comercio (24 de 09 de 2015). *3.102 hectáreas de espacios verdes fueron consumidas por el fuego en Quito*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/hectareas-espacios-verdes-consumidas-fuego.html>
- El Comercio (14 de 09 de 2016). *Incendios forestales disminuyeron en este año*. Recuperado el 22 de 03 de 2017, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/incendios-quito-incendiosforestales-bomberos-fuego.html>
- EL TELÉGRAFO, Diario (16 de 09 de 2015). *Ecuador enfrenta incendios forestales en 17 zonas*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/1/ecuador-enfrenta-incendios-forestales-en-17-zonas>
- EL UNIVERSO, Diario (26 de 08 de 2015). *Incendio de Ilaló es el más complicado en cinco años*. El Universo. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/08/26/nota/5087381/incendio-ilalo-es-mas-complicado-cinco-anos>
- EL UNIVERSO, Diario (23 de 09 de 2015). *Pérdidas por incendios en Quito llegan a \$9,5 millones*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/09/23/nota/5142578/perdidas-incendios-quito-llegan-95-millones>
- El Universo (10 de 09 de 2015). *Incendios forestales en Quito son provocados*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/09/10/nota/5115800/incendios-forestales-provocados>
- EMAAP-Q, PSA. (2006). *Plan de Manejo del Cerro Ilaló*. Quito.
- ESTACIO, Jairo y NARVÁEZ, Nixon (2012). *Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito: Conocimiento e intervención pública del riesgo*. *Letras Verdes N.º 11*, 27-52.
- FUENTES, Hugo (2015). *Monitoreo de Cicatrices de Quemadas en el Departamento de Pando – Bolivia mediante sistemas de información geográfica y teledetección*. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 0534 - 0541.
- GAJARDO, John, MENA, Carlos, ORMAZÁBAL, Yony y MORALES, Yohana (2009). *Detección y cuantificación de área quemada por incendios forestales utilizando geomática*. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 107-122.
- GÓMEZ, Nieto y MARTÍN, María (2008). *Estudio comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS*. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, 883-894.
- GONZÁLEZ, Alonso, MERINO, de Miguel y CUEVAS, J. (2007). *Evaluación del área quemada en los incendios forestales de Galicia en agosto 2006 a partir de imágenes AWiFS y focos activos MODIS*. *Sevilla - España Wildfire*.
- HALL, Minard (1977). *El Volcanismo en el Ecuador*. Quito: Sección Nacional del Ecuador IPGH.
- Ilustre Municipio de Quito; Ecopar; Climate y Development Knowledge Network. (2015). *DOCUMENTO TÉCNICO SISTEMATIZACIÓN: Conocimiento de la vulnerabilidad y posibles medidas de adaptación al cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). *Descripción de productos Landsat data continuity mission*. Bogotá.

- MARTÍN, María y CHUVIECO, Emilio (1998). Cartografía de grandes incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. *Serie Geográfica*, 109-128.
- MARTÍN, María y CHUVIECO, Emilio (2001). Propuesta de un nuevo índice para cartografía de áreas quemadas: aplicación a imágenes NOAA-AVHRR y Landsat-TM. *Revista de Teledetección*, 57-64.
- MICHALIJOS, María y UBOLDI, Julio (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales. *Norte Grande*, 56, 223-234.
- REMOTE SENSING, NRM641. (17 de 04 de 2014). *Using Landsat Sensor Data To Map Burned Areas*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=9P0MzIXzaPk>
- USGS. (2015). *Using the USGS Landsat 8 Product*. Recuperado el 13 de 07 de 2016, de http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.