



## ANÁLISIS DE INCENDIOS FORESTALES EN PAJONALES ANDINOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN, MACARI – PUNO

### ANALYSIS OF WILDFIRES IN ANDEAN PAJONALES USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING, MACARI - PUNO

Hector Hugo Añamuro-Luque<sup>1,6</sup>, César Julio Larico-Mamani<sup>4,5</sup>,  
Carlos Enrique Ruiz-Vásquez<sup>1,3</sup>, Omar Miguel Monteza-Rosales<sup>2</sup>,  
Jose Quiñonez-Choquecota<sup>5</sup>

#### Historia del Artículo:

Recibido: 03 de julio de 2020

Aceptado: 26 de agosto de 2020

<sup>1</sup> Área de Pronóstico Computacional de Eventos Naturales y Defensa del Agua - Instituto de Investigación en Ciencias de la Computación - Escuela de Posgrado - Universidad Nacional del Altiplano.

[hugo.aluque@gmail.com](mailto:hugo.aluque@gmail.com) ORCID

<sup>2</sup> Servicio Forestal y de Fauna Silvestre.

[omonteza@serfor.gob.pe](mailto:omonteza@serfor.gob.pe)

<sup>3</sup> Instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental de Puno.

[carlos.ruizvasquez@gmail.com](mailto:carlos.ruizvasquez@gmail.com) ORCID

<sup>4</sup> Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

[clarico@unap.edu.pe](mailto:clarico@unap.edu.pe) ORCID

<sup>5</sup> Universidad Nacional del Altiplano.

[josequich@gmail.com](mailto:josequich@gmail.com) ORCID

<sup>6</sup> Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca.

<https://doi.org/10.56636/ceprosimad.v8i2.96>

#### RESUMEN

Los incendios forestales se suscitan por orígenes naturales y antropogénicas mismos que traen consigo consecuencias ambientales considerables, para ello existen diversas herramientas basadas en sistemas de información geográfica y Sensoramiento remoto, que son útiles para estimar de áreas quemadas y la severidad del mismo. El presente estudio se desarrolló en el distrito de Macarí – Puno en el que en el año 2016 ocurrió un incendio que se analizó en este estudio, el área de estudio se caracterizó por tener una cubierta vegetal comprendida por pajonales andinos. El Objetivo de la investigación fue estimar el área quemada y la severidad ocasionada por el incendio; para ello se utilizó imágenes satelitales Landsat 8 OLI y el producto MODIS (MCD45A1). Con el producto MCD45A1 se obtuvo la ubicación y el día juliano de las áreas quemadas teniendo como equivalencia a calendario actual 14 al 25 de agosto fechas aproximadas de la quema, la cual se corroboró mediante la combinación de bandas RGB (7-6-5). Con el NBRI Y ΔNBR se ha delimitado el área quemada de 2 458,673 hectáreas y ha logrado determinar que el incendio en su mayoría fue de una Severidad Baja con 1 385,145 hectáreas; seguida de una Severidad Media con un área de 967,568 hectáreas.

**PALABRAS CLAVE:** Severidad, MODIS, Landsat, NBRI, Incendios Forestales.

### ABSTRACT

Wildfires are caused by natural and anthropogenic origins themselves that bring considerable environmental consequences, for this there are various tools based on geographic information systems and remote sensing, which are useful for estimating burned areas and their severity. The present study was developed in the district of Macarí - Puno in which in 2016 a fire occurred that was analyzed in this study, the study area was characterized by having a vegetation cover comprised of Andean grasslands. The objective of the investigation was to estimate the burned area and the severity caused by the fire; For this, Landsat 8 OLI satellite images and the MODIS product (MCD45A1) were used. With the product MCD45A1 the location and the Julian day of the burned areas were obtained having as equivalent to current calendar August 14 to 25 approximate dates of the burning, which was corroborated by the combination of RGB bands (7-6-5). With the NBRI and  $\Delta$ NBR a burned area of 2 458.673 hectares has been delimited and has been able to determine that the fire was mostly of a Low Severity with 1 385.145 hectares; followed by a Medium Severity with an area of 967.568 hectares.

**KEYWORDS:** Severity, MODIS, Landsat, NBR, Wildfires.

### INTRODUCCIÓN

El estudio del comportamiento de los incendios ha sido siempre de interés para la comunidad científica, siendo la prevención del movimiento del fuego en tiempo real un blanco a conseguir (Balbi et al., 2011). Los incendios forestales pueden generarse a causas naturales o antropogénicas, la propagación del fuego depende de muchos factores uno de ellos es el tipo de cobertura vegetal. Los ecosistemas andinos están adaptados a otoños prolongados e inviernos secos, acompañados de una extensa cobertura vegetal constituida en su mayoría por pajonales andinos (Figura 1), una especie altamente inflamable; siendo este un escenario muy factible para la presencia del fuego.

Los efectos del fuego referente a la respuesta de la vegetación es muy dependiente de la severidad del mismo (Veraverbeke y Hook, 2013), que es consecuencia de la intensidad con que se ha quemado; se puede definir la severidad del incendio como el grado de

cambios que el fuego induce en el medio, o cuando el fuego afecta al ecosistema (Montorio Llovería et al., 2014).

Una forma de delimitar la extensión y determinar la severidad del incendio es mediante la teledetección, existen varios métodos para determinar el grado de afección de la vegetación (severidad), en este estudio se empleó el Ratio Normalizada de Área Quemada (NBR), que es un índice que sirve para determinar el área quemada; Para la caracterización espectral de la vegetación quemada se considera dos tipos diferentes de señal: La proveniente de la formación y el depósito de carbón y cenizas sobre la superficie, y la procedente de la alteración de la estructura y cantidad de la vegetación.

El primer tipo es resultado de la combustión de la vegetación con una corta duración en el tiempo, ya que se degrada por acción de los agentes externos, que es eliminado a pocas semanas o meses después de ocurrido el incendio. La segunda señal es más estable, y menos nítida para discriminar los efectos del

fuego, pues el deterioro de la vegetación se debe a otros factores que causan los cambios en la vegetación como puede ser plagas, sequías, etc (Pereira et al., 1999).

Por lo descrito líneas arriba el presente estudio tuvo como finalidad analizar los incendios forestales ocurridos en el distrito de Macarí – Puno, utilizando Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El Distrito de Macarí es un distrito de la provincia de Melgar, cuenta con una extensión territorial de 673,78 km<sup>2</sup> y representa el 15,22% de la provincia de Melgar y el 0,93% del departamento de Puno. El cual se ubica entre las coordenadas Latitud Sur: 14°46'18.29", Longitud Oeste 70°54'10.10" y Altitud: 3 970 msnm. Según el (Ministerio del ambiente, 2015) la cobertura vegetal está conformada en su gran mayoría por Pajonales andinos y zonas donde se desarrolla agricultura (Figura. 01).

Para estimar la extensión y la severidad del área quemada se utilizó los siguientes métodos, (i) Clasificación de valores de Píxeles, (ii) Foto interpretación Multiespectral y (iii) uso de índices espectrales de vegetación (NBR,  $\Delta$ NBRI); realizando la comparación de imágenes de distintas fechas (antes y después del incendio). Toda la metodología se realizó mediante el análisis de imágenes satelitales LandSat 8 y MODIS (MCD45A1).

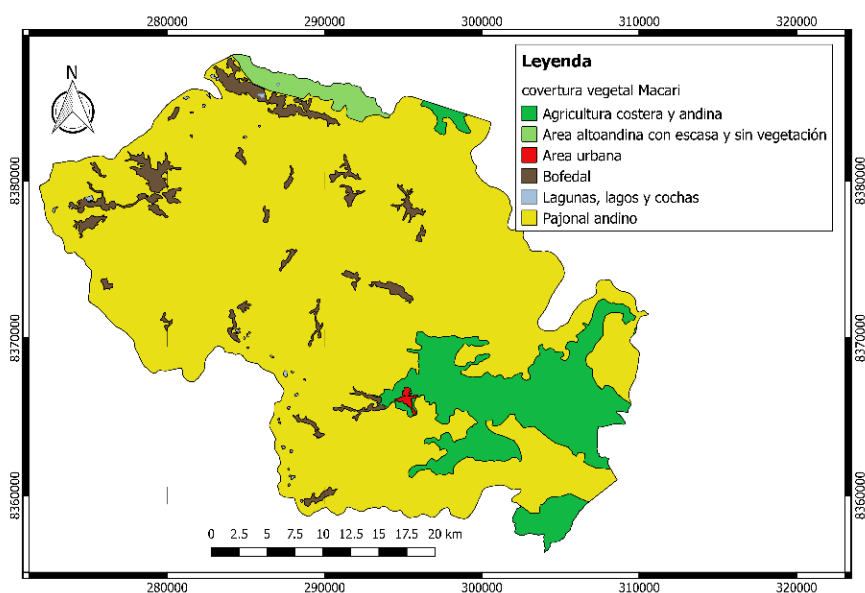
Las imágenes MODIS proporcionan información de la fecha probable del incendio, mientras que las imágenes LandSat proporcionan información de la superficie terrestre y por ende de los incendios forestales.

Las imágenes MODIS son empleadas para generar distintos productos, uno de los muchos productos es el MCD45A1 (Burned Area Monthly L3 Global 500m), el mismo que proporciona información de las áreas quemadas. El conjunto de datos más importante para la investigación es el BURN

DATE; según Boschetti, Roy, Hoffmann, y Humber, (2008) indican que el producto mencionado brinda el día juliano aproximado en el que se dio una quema, desde 8 días antes del comienzo del mes hasta 8 días después del final del mes, también indica las zonas que no sufrieron quemaduras, así mismo nieve, agua.

Por otro lado, las imágenes LandSat 8

cuentan con 11 bandas; 8 bandas espectrales de 30 metros de resolución espacial (bandas 1-7 y 9), 1 banda pancromática de 15 metros de resolución espacial (banda 8) y 2 bandas



**Figura 1**

Cobertura vegetal del distrito de Macarí.

Fuente: (Ministerio del ambiente, 2015)

térmicas de 100 metros de resolución espacial (bandas 10 y 11); las imágenes LandSat proporcionan información de la superficie de la tierra, por esta razón son muy útiles en el estudio y análisis de los incendios forestales.

Las imágenes obtenidas para el análisis fueron corregidas desde números digitales (ND) a reflectancia utilizando el complemento de Qgis: semi – Automatic classification plugging, misma que aplica la corrección atmosférica DOS-1 (Dark Object Substraction).

según (Chavez, 1996) en este método de sustracción de objetos oscuros (DOS) admite que hay áreas en una imagen con valores demasiados bajos de reflectancia, cualquier reflectancia aparente es producto de la dispersión (scatering) atmosférica y esta información puede ser usada para calibrar el resto de la imagen.

Para determinar la ubicación y fecha de la quema se analizó el producto MCD45A1; teniendo como resultado los días juliano aproximados del día de la quema posteriormente se procedió a corroborar estos primeros resultados mediante combinación de bandas RGB realizando la combinación 7-6-5.

### Cálculo de índice Normalizado de Quemadas

Las imágenes Landsat ya corregidas se utilizaron para calcular el NBR desarrollado por Hunt & Rock, (1989), el cual sirve para estimar el área quemada.

$$NBRI = \frac{(NIR - SWIR2)}{(NIR + SWIR2)}$$

Donde:

NBRI: Índice Normalizado de Áreas Quemadas.

NIR: Reflectancia de la banda infrarrojo cercano.

SWIR2: Reflectancia de la banda infrarrojo de onda corta 2.

Para estimar la severidad del incendio se realizó el cálculo de  $\Delta NBR$ , utilizando la fórmula propuesta por Lutes et al., (2006), la fórmula es la siguiente:

$$\Delta NBRI = NBRI_{Antes} - NBRI_{Despues}$$

Para establecer los niveles de severidad de los incendios se utilizó la tabla de valores planteada por Sobrino et al., (2019) a la que se aplicó un factor de escala a los valores de  $\Delta NBR$  de  $10^3$  y se reclasificó de acuerdo a la tabla 01.

**Tabla 01**

Valores de Severidad y Regeneración Post Incendio.

NIVEL	RANGO DE $\Delta NBR$
Rebote Alto	-500 a -251
Rebote Bajo	-250 a -101
Sin Quema	-100 a +99
Severidad Baja	+100 a +269
Severidad Moderada – Baja	+270 a +439
Severidad Moderada – Alta	+440 a +659
Severidad Alta	+660 a +1300

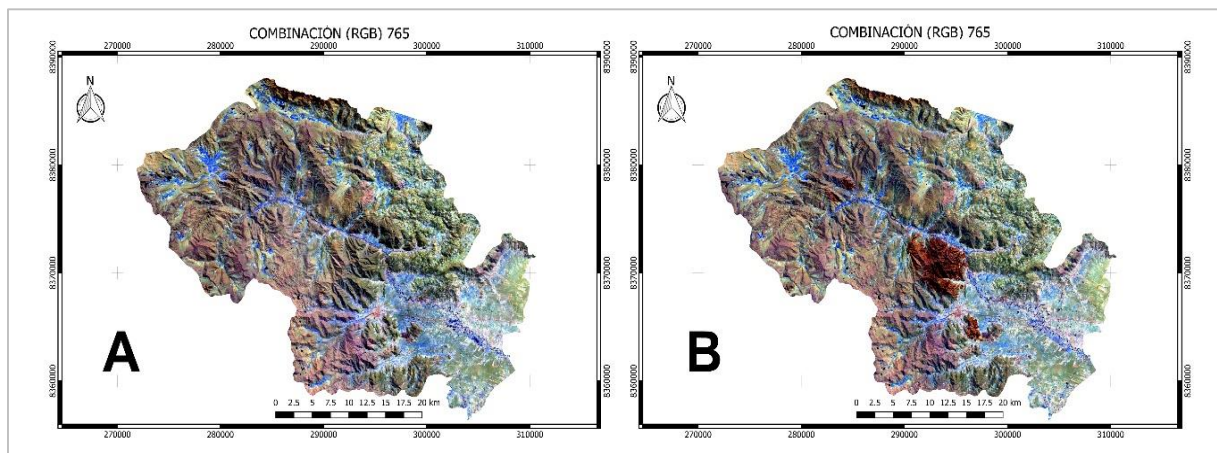
Fuente: (Lutes et al., 2006)

## RESULTADOS

Realizando el estudio de la información de Burn date comprendidas en el producto MODIS MCD45A1 se adquirió la ubicación geográfica y el día aproximado de las áreas quemadas expresadas en días Juliano, siendo estos los días del 227 al 238; lo que equivale en el calendario actual (Calendario Gregoriano) 14 de agosto al 25 de agosto fechas que ha durado la quema.

Seguidamente se realizó los estudios de las de imágenes LandSat, usando el método de combinación de bandas RGB 7-6-5; de antes y después de la fecha obtenida, mediante el estudio de productos MODIS MCD45A1, se ha corroborado la fecha de la quema y se definió la fecha 30 de julio del 2016 como la imagen satelital a utilizarse para obtener el testimonio antes del incendio y el 31 de

agosto del 2016 como la imagen satelital a utilizarse para obtener el testimonio después del incendio; ambas para calcular el índice NBRI (Figura 02); donde se aprecia las diferencias entre ambas imágenes (antes y después del incendio) delimitando la zona quemada con una coloración marrón oscura en ambas composiciones.



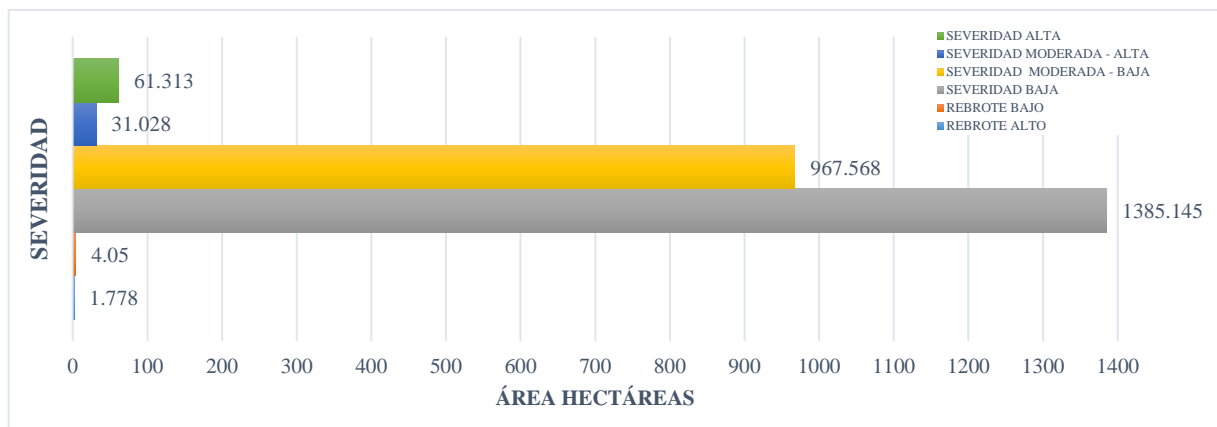
**Figura 2**

Composición de bandas (7-6-5 y de imágenes satelitales LandSat, A: antes del incendio y B: después del incendio.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el estudio de NBRI en imágenes de antes y de después del incendio (Figura 04), se ha identificado las zonas quemadas, en este caso la coloración roja intensa delimita la zona que ha sido escenario de un

incendio forestal; mediante la vectorización de las áreas quemada obtenidas con el índice NBRI después del incendio, se delimitó un área quemada de 2 458,673 hectáreas.

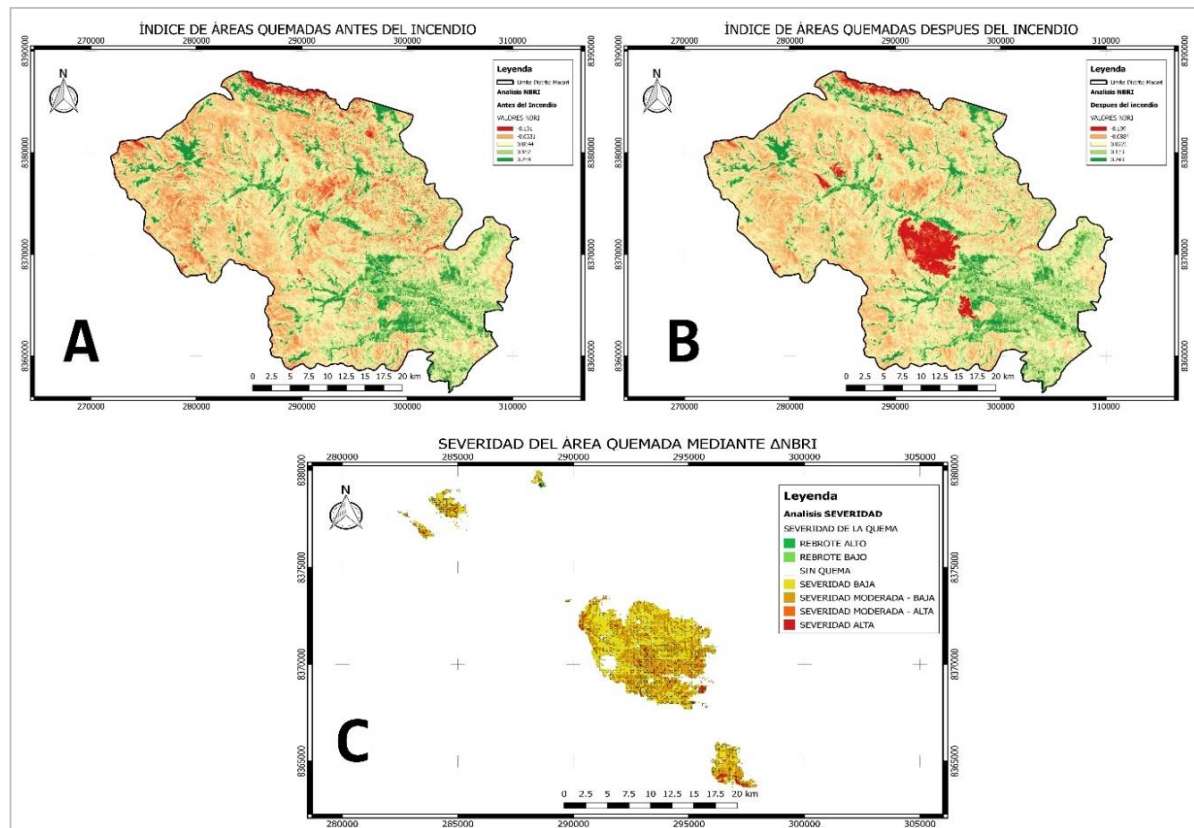


**Figura 03**

Área quemada conforme la severidad de la quema.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4**

Índice NBRI de antes (A), después del incendio (B) y severidad de la quema (C).

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

El uso del producto MCD45A1 de MODIS posee limitaciones para brindar información de áreas donde se desarrollaron incendios forestales, debido a que el insumo satelital de la cual deriva este producto, tiene una resolución espacial de 1km, lo cual se refleja al momento de la necesidad de cartografiar áreas quemadas pequeñas, ya que el producto simplemente no cuenta con la información de un área quemada demasiado pequeña.

Según [Giglio, \(2010\)](#) existen muchas más razones por las que no se cuenta con información de ciertas áreas quemadas, razones que van desde el hecho que el incendio se haya originado antes o después de que el satélite (MODIS) haya hecho la captura de la imagen o que el incendio sea demasiado pequeño y no genere la suficiente

energía térmica para que los sensores térmicos del satélite lo puedan registrar, también existen razones ajenas a los incendios forestales tales como la cobertura de nubes que impide el registro de información de la superficie.

Por otro lado la delimitación de la cicatriz se realizó óptimamente llegando a excluir zonas donde no se presenta cobertura vegetal como roquedales y zonas de vegetación que no ha sido quemada, a diferencia de métodos estándar donde se la delimitación se realiza sin obviar estas zonas ajenas a vegetación quemada, tal como afirma [\(Nieto Masot et al., 2016\)](#) el uso de las técnicas de teledetección mejora mucho la calidad de la delimitación de las áreas quemadas, teniendo restricciones relacionadas al tamaño del área quemada y no quemada, esta restricción es condicionada a la resolución del sensor

(Landsat 8 OLI) que posee 30 metros de resolución.

El grado de severidad más alto provocado por el incendio forestal es Moderada alta, esto puede deberse al tipo de vegetación que ha sido quemada (Pajonal andino) que, como indica Nieto Masot et al., (2016) en este tipo de vegetación la severidad llega a valores altos.

## CONCLUSIÓN

A través del estudio de incendios forestales en pajonales andinos en el distrito de Macarí se observa que el producto MCD45A1 de MODIS proporciona una información precisa de la fecha probable de ocurrencia de incendios, no obstante, existen incendios que no son registrados por el sensor MODIS.

El uso de imágenes satelitales Landsat 8 OLI mejora en gran medida el seguimiento y estudio los incendios forestales, en este particular caso, en lugares donde nunca se realizan mediciones de estos fenómenos ni de su extensión ni de la severidad; por lo cual este tipo de metodologías con sus respectivas limitaciones contribuyen a generar información para establecer alternativas de gestión de desastres ocasionadas por los incendios forestales.

## AGRADECIMIENTO

Al Área de Pronóstico Computacional de Eventos Naturales y Defensa del Agua del Instituto de Investigación en Ciencias de la Computación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindar las facilidades para el desarrollo de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balbi, J. H., Morandini, F., Silvani, X., Baptiste, J., Balbi, J. H., Morandini,

F., Silvani, X., Filippi, J. B., & A, F. R. (2011). A Physical Model for Wildland Fires. *Combustion and Fire*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2009.07.010>

Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A., & Humber, M. (2008). MODIS Collection 5 Burned Area Product MCD45. In *User Guide: Vol. Version 1*. (Issue September).

Chavez, P. S. (1996). *Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved*. <https://pdfs.semanticscholar.org/45f1/2625ce130261c7d360d50e09c635355ca919.pdf>

Giglio, L. (2010). *MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide Version 2.4*. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS\\_Fire\\_Users\\_Guide\\_2.4.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS_Fire_Users_Guide_2.4.pdf)

Hunt, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43–54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)

Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S., & Gangi, L. J. (2006). *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. USDA Forest Service RMRS-GTR-164-CD. June*, 1–55. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>

Ministerio del ambiente. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal*. 105. <https://www.gob.pe/minam>

Montorio Llovería, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., Vlassova, L., & De la Riva Fernández, J. (2014). La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. *Geoecología, Cambio*

- Ambiental y Paisaje: Homenaje Al Profesor José María García Ruiz*, 427–440.
- Nieto Masot, A., Navazo Arenas, G., & Moreno Marcos, G. (2016). Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial: aplicaciones en los sectores público, empresarial y universitario. In *Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario, 2016*, ISBN 978-84-617-6760-1, págs. 247–268. Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5776243>
- Pereira, J., Sousa, A., Sá, A., Martín, M. P., & Chuvieco, E. (1999). *Regional-scale burnt area mapping in Southern Europe using NOAA-AVHRR 1 km data BT - Remote Sensing of Large Wildfires: in the European Mediterranean Basin* (E. Chuvieco (ed.); pp. 139–155). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4_8)
- Sobrino, J. A., Llorens, R., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2019). Relationship between Forest Fires Severity Measured in Situ and through Remotely Sensed Spectral Indices. *Forests*, 10(457), 1–13.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f10050457>
- Veraverbeke, S., & Hook, S. J. (2013). Evaluating spectral indices and spectral mixture analysis for assessing fire severity, combustion completeness and carbon emissions. *International Journal of Wildland*
- Fire*, 22(5), 707.  
<https://doi.org/10.1071/wf12168>