



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-430

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Evaluación de la capacidad de discriminación de índices termo-reflectivos sobre la severidad de incendio forestal en la Comunidad Valenciana

LAFRAGÜETA PÉREZ, C.¹, BOTELLA MARTÍNEZ, M.A.² y FERNÁNDEZ-MANSO, A.³

¹ Remot-Technologies.

² Generalitat Valenciana.

³ Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad de León.

Resumen

Los incendios forestales constituyen la principal perturbación en los ecosistemas forestales mediterráneos. Tras la ocurrencia de un incendio forestal, la correcta evaluación de la severidad del fuego constituye el punto de partida para la adecuada planificación de la restauración post-incendio. La teledetección constituye una herramienta fundamental para la estimación rápida y fiable de la severidad de los incendios forestales. Recientemente, el aumento de disponibilidad de información relativa a la región térmica del espectro electromagnético, ha revelado el potencial de la misma -por sí sola o en combinación con información reflectiva- para discriminar el grado de afección ocasionado por el fuego. En este trabajo se evalúa el potencial de distintos índices termo-reflectivos, respecto de los índices convencionales utilizados en el estudio de la severidad de incendios. Partiendo a tal fin, de la información proporcionada por los sensores OLI y TIRS de Landsat 8 y del grado de afección estimado sobre imagen aérea, en 684 parcelas correspondientes a 9 incendios forestales ocurridos en el periodo 2013-2015 en La Comunidad Valenciana. Los resultados obtenidos confirman el potencial de la temperatura de superficie -preferentemente cuando combinada con información reflectiva- en la discriminación del grado de severidad del fuego en los ecosistemas forestales mediterráneos; al mismo tiempo que sugieren el estudio de la influencia de los factores ajenos a la severidad del fuego sobre esta variable, en favor de la mejora de su capacidad predictiva.

Palabras clave

Landsat 8, infrarrojo térmico, temperatura de superficie, fuego forestal, ecosistema mediterráneo.

1. Introducción

La teledetección como herramienta para la estimación de la severidad del fuego, se fundamenta en el establecimiento relaciones cuantitativas entre datos adquiridos en campo sobre el grado de afección del fuego, e indicadores de severidad derivados de imágenes. A tal fin, los indicadores de severidad más empleados son los índices de vegetación basados en ratios de reflectividad en las regiones del infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared) y del infrarrojo de onda corta (SWIR, Shortwave Infrared); destacándose el Normalized Burn Ratio o NBR, su versión diferenciada dNBR o su versión relativizada RdNBR. Sin embargo, *Boelman et al (2011)* señala la ausencia de un único método consistente, que pueda ser aplicado para analizar los efectos de los incendios forestales a partir de imágenes satélite.

Si bien la información de la región óptica del espectro electromagnético ha sido utilizada con éxito en el estudio de la severidad del fuego, el uso de la información del térmico ha sido mucho más limitado, a pesar del gran potencial que presenta esta la temperatura de superficie (siglas en inglés - LST). La LST es un parámetro biofísico relativo al transporte de energía entre la superficie de la Tierra y la capa límite, capaz de proporcionar información sobre las variaciones del estado de equilibrio de la superficie terrestre.

En la actualidad, diversos autores han obtenido resultados reveladores sobre el papel de la LST como indicador potencial para la estimación de la severidad de incendios forestales, a partir de

información proporcionada por sensores de baja resolución espacial (MODIS/ASTER - Veraverbeke, 2011) y media resolución espacial (TM - Vlassova et al, 2014; ETM+ - Quintano et al, 2015), por sí sola o en combinación con información reflectiva (Zheng et al, 2016). En este punto, se abre un nuevo campo de estudio en relación a la estimación y aplicabilidad de la LST derivada a partir del sensor térmico infrarrojo (siglas en inglés - TIRS) a bordo de la nueva plataforma satelital Landsat 8, en ecosistemas heterogéneos mediterráneos.

2. Objetivos

El objetivo general del trabajo se centra en estudiar la aplicabilidad de la LST, derivada a partir de la información proporcionada por el sensor TIRS de Landsat 8, a la evaluación de la severidad de incendios forestales en ecosistemas mediterráneos, a través de distintos índices termo-reflectivos.

3. Metodología

Puesto que el objeto del trabajo es el análisis de la severidad de incendio en la Comunidad Valenciana, se seleccionó una muestra de incendios representativa del régimen de fuego en la región. La muestra está compuesta por un total de 9 incendios ocurridos durante el periodo 2013-2015, afectando una superficie próxima a las 4.000 ha.

El estudio del grado de afección del fuego a través de teledetección, requiere el uso de una escena anterior y otra posterior a la ocurrencia del incendio. De esta forma, se seleccionaron imágenes captadas por los sensores OLI y TIRS a bordo de la plataforma Landsat 8, correspondientes a los momentos anterior y posterior a la ocurrencia de cada incendio, minimizando el lapso de tiempo entre el momento de la extinción del fuego y la captura de la imagen.

La severidad de incendio observada en campo se evaluó en base a una adaptación del protocolo CBI-Composite Burn Index (Key & Benson, 2006), a partir de imágenes aéreas cedidas por el Servicio de Prevención y Extinción de Incendios Forestales de la Generalitat Valenciana. En total se evaluaron 684 unidades de muestreo de 30x30m, diferenciándose cuatro categorías de severidad de incendio: no quemado, baja, moderada y alta.

La Figura 1 recoge el proceso metodológico completo aplicado en la elaboración del estudio, el cual se concreta en 4 bloques diferenciados:

1. Procesado de la información, que incluye la corrección de imágenes y el cálculo de índices reflectivos -dNBR, RdNBR y RBR- y termo-reflectivos -LSTpost, dLST y d(LST/EVI)- para cada parcela y cada banda térmica a bordo del sensor TIRS.
2. Categorización, que incluye:
 - a) El análisis de separabilidad entre las categorías de severidad observada (en campo) de acuerdo al valor de los índices termo-reflectivos calculados, mediante técnicas de estadística no paramétrica.
 - b) La determinación de umbrales óptimos de separabilidad entre categorías de severidad, para los distintos índices termo-reflectivos calculados. Esta determinación se realizó para cada índice, a partir de los valores intermedios entre dos categorías consecutivas de severidad observada y los resultados ofrecidos por la herramienta Intervalos óptimos implementada en el software SPSS v21 de IBM Cop, mediante la cual se acotan intervalos que representan las mayores diferencias posibles con respecto a la variable severidad de incendio observada.
 - c) El análisis de separabilidad entre las categorías de severidad establecida de acuerdo a los umbrales óptimos para los índices termo-reflectivos calculados, mediante técnicas de estadística no paramétrica.
3. Validación de los umbrales óptimos establecidos para los índices termo-reflectivos, a nivel global, mediante distintas medidas estadísticas (matrices de confusión e índice Kappa).
4. Comparación de la precisión de clasificación de la severidad de incendio de los índices termo-reflectivos con respecto a los tradicionales, en términos de fiabilidad.

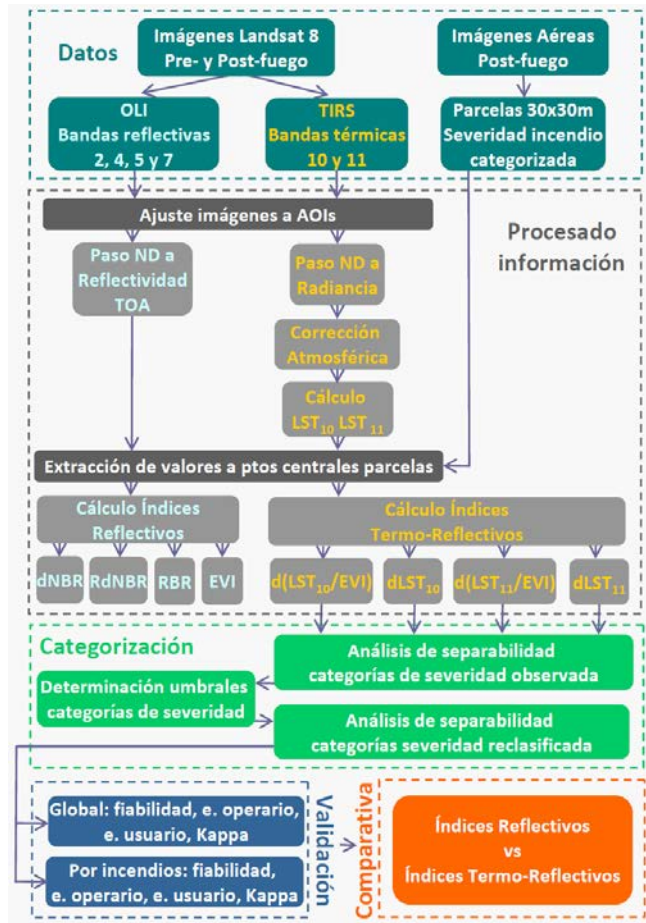


Figura 1. Esquema de la metodología empleada

4. Resultados

Las Tablas 1 a 3 muestran estadísticas descriptivas de los valores calculados para los distintos índices termo-reflectivos en las parcelas de muestreo a nivel general y de incendio.

Tabla 1. Valores promedio de la LST posterior al paso del fuego (°C) para las distintas categorías de severidad, y sus diferencias con respecto a la categoría no quemada, para las bandas 10 y 11 a bordo de sensor TIRS.

LST Post	B10	B11	DIFERENCIA RESPECTO NQ B10	DIFERENCIA RESPECTO NQ B11
NQ	35,89	32,73	-	-
Baja	39,19	35,08	3,3	2,4
Moderada	39,76	36,21	3,9	3,5
Alta	42,78	39,39	6,9	6,7

Tabla 2. Valores promedio del índice dLST (°C) para cada categoría de severidad y su valor promedio.

dLTS	B10	B11
NQ	4,6	4,4
Baja	6,9	6,1
Moderada	9,9	9,3
Alta	13,3	12,6
Promedio	10,0	9,3

Tabla 3. Valor medio de los índices estudiados en las parcelas de muestreo por incendios, excluyendo la categoría de severidad no quemada.

INCENDIO	B10			B11		
	LST-post	dLST	d(LST/EVI)	LST-post	dLST	d(LST/EVI)
Benaguasil	41,40	3,44	1,56	34,18	2,44	1,28
Ayora	51,23	8,65	3,53	46,17	7,42	3,17
Segorbe 1	17,65	5,44	1,82	16,02	6,08	1,70
Godelleta	42,62	16,88	4,00	39,70	16,14	3,74
Calles	44,17	11,80	1,93	39,56	9,34	1,70
La Vall d'Uxo	43,84	8,70	5,69	38,50	8,13	5,01
La Vall d'Ebo	44,64	17,31	3,55	42,94	15,98	3,40
Segorbe 2	48,28	14,48	3,37	45,84	13,78	3,20
Montán	37,56	8,67	2,47	33,73	9,50	2,26

Las Tablas 4 y 6 recogen los resultados del análisis estadístico de separabilidad entre clases de severidad observada en base a los índices termo-reflectivos, y entre clases de severidad establecida de acuerdo a los umbrales determinados para los mismos índices termo-reflectivos.

Tabla 4. Pruebas de separabilidad entre categorías de severidad observada para los índices termo-reflectivos (Test de Kruskal-Wallis) a un NC 95%.

INDICE	B10			B11		
	LST Post	dLST	d(LST/EVI)	LST Post	dLST	d(LST/EVI)
Chi-cuadrado	113,03	253,06	497,49	105,46	282,35	501,32
gl	3	3	3	3	3	3
Sig. asintót	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

La tabla 5 muestra los valores entre-categorías o umbrales establecidos para la clasificación de la severidad de incendio a partir de índices termo-reflectivos.

Tabla 5. Umbrales de clasificación de la severidad de incendio según índices termo-reflectivos para la Comunidad Valenciana

INDICE	B10			B11		
	NQ Baja	Baja Moderada	Moderada Alta	NQ Baja	Baja Moderada	Moderada Alta
LST_post	39	40	44	34	38	46
dLST	4	8	13	4	6	11
d(LST/EVI)	0,61	1,82	3,14	0,55	1,71	2,80

Tabla 6. Pruebas de separabilidad entre categorías de severidad establecida para los índices termo-reflectivos (Test de Kruskal-Wallis) a un NC 95%.

INDICE	B10			B11		
	LST Post	dLST	d(LST/EVI)	LST Post	dLST	d(LST/EVI)
Chi-cuadrado	611,18	633,97	629,87	626,58	628,88	628,27
gl	3	3	3	3	3	3
Sig. asintót	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Las Tablas 7 y 8 muestran la concordancia entre la severidad observada y la establecida para las bandas 10 y 11, respectivamente, mediante distintos estadísticos (exactitud del usuario, el productor, fiabilidad global e índice kappa).

Tabla 7. Concordancia entre la severidad observada y la establecida a partir de los valores umbral para los índices termo-reflectivos derivados de la banda 10 (Fiabilidad global, Exactitud del usuario y del productor e índice Kappa)

CATERGORIA SEVERIDAD	LST Post		d(LST)		d(LST/EVI)	
	Exactitud Productor	Exactitud Usuario	Exactitud Productor	Exactitud Usuario	Exactitud Productor	Exactitud Usuario
No quemado	61,5	47,2	43,0	73,3	93,9	83,6
Baja	10,5	23,1	49,1	14,3	64,9	34,3
Moderada	33,0	34,9	24,9	26,0	52,4	68,3
Alta	57,4	60,4	52,9	67,5	79,5	89,7
FIABILIDAD GLOBAL	47,95		42,40		74,71	
KAPPA GLOBAL	0,25		0,23		0,65	

Tabla 8. Concordancia entre la severidad observada y la establecida a partir de los valores umbral para los índices termo-reflectivos derivados de la banda 11 (Fiabilidad global, Exactitud del usuario y del productor e índice Kappa)

CATERGORIA SEVERIDAD	LST Post		d(LST)		d(LST/EVI)	
	Exactitud Productor	Exactitud Usuario	Exactitud Productor	Exactitud Usuario	Exactitud Productor	Exactitud Usuario
No quemado	43,6	41,7	46,4	66,9	93,3	83,9
Baja	21,1	6,6	36,8	17,5	66,7	31,7
Moderada	37,3	29,1	33,0	30,2	46,5	69,9
Alta	25,9	88,3	59,3	65,5	81,7	88,8
FIABILIDAD GLOBAL	33,19		46,93		73,98	
KAPPA GLOBAL	0,13		0,27		0,64	

La Tabla 9 recoge la validación de los resultados obtenidos para el índice d(LST/EVI) en la banda 10, mediante la evaluación del grado de concordancia entre la categoría de severidad observada en campo y la categoría de severidad establecida, a nivel de incendio.

Tabla 9. Concordancia entre la severidad observada y la establecida a partir de los umbrales para la d(LST/EVI) derivada de la banda 10, por incendios (Fiabilidad global, Exactitud del usuario y del productor e índice Kappa)

INCENDIO	EXACTITUD PRODUCTOR				EXACTITUD USUARIO				FIABILIDAD GLOBAL	INDICE KAPPA
	NQ	Baja	Moderada	Alta	NQ	Baja	Moderada	Alta		
Benaguasil	100	71	33	50	88	42	60	100	69	0,57
Ayora	100	85	78	100	100	89	82	95	93	0,90
Segorbe 1	100	0	5	31	65	0	9	100	40	0,22
Godolleta	67	100	68	87	100	19	68	93	77	0,67
Calles	96	57	71	60	88	33	89	100	78	0,68
La Vall d'Uxo	100	33	42	100	100	100	92	59	75	0,63
La Vall d'Ebo	100	100	62	91	100	33	84	93	83	0,75
Segorbe 2	100	-	60	76	100	-	30	100	82	0,71
Montán	100	100	48	70	44	50	57	100	68	0,53

5. Discusión

La LST, cuando analizada en relación a las distintas categorías de severidad (Tabla 1), refleja una correlación positiva con el grado de afección. Así, cuando el análisis se realiza respecto de la categoría 'no quemado', evidencia un aumento de entre 3 y 7 °C; que coincide con el reportado por otros autores (Vlassova et al, 2014). De acuerdo con Quintano et al (2015), esta forma de proceder (la comparación de la LST en el área quemada respecto a la no quemada) minimiza las influencias externas, permitiendo identificar las variaciones de LST, ciertamente debidas al paso del fuego.

En cuanto al incremento de LST entre imágenes pre- y post-fuego (dLTS), Vlassova (2016) añade al efecto del fuego, el ocasionado por la modificación de la geometría de la iluminación a lo largo del año. La Tabla 2, muestra valores de dLST para las categorías de severidad, pudiendo observarse un aumento de la temperatura incluso en las parcelas no quemadas.

El aumento de la LST en parcelas no afectadas por el fuego, se debería a la mayor cantidad de energía incidente conforme avanza el verano. Si bien el incremento de temperatura medio en las parcelas afectadas por el fuego es de 10 °C, entre 3 y 4 °C inferior al reportado por otros autores (Huang et al, 2013; Vlassova et al, 2014; Quintano et al, 2015), circunstancia que podría deberse a que sólo 3 de las 9 imágenes post-fuego fueron captadas durante los meses de verano.

La Tabla 3 corrobora las tendencias reportadas en el análisis global, en cuanto existe un aumento de temperatura tras el paso del fuego (dLST >0), y estos valores son superiores para la banda 10 que para la 11. Si bien, una comparativa por incendios, permite identificar que los valores máximos y mínimos para los distintos índices, corresponden a incendios diferentes; dejando entrever el comportamiento desigual de los índices. Esta comparativa también pone de manifiesto la baja temperatura post-fuego (LST-post) registrada para el incendio de Segorbe 1, la cual podría estar relacionada con los momentos de ocurrencia del incendio y de captura de la imagen post- (ambos en febrero), cuando la irradiancia solar es mínima.

La Tabla 4 determina la existencia de diferencias significativas entre las medianas relativas a las distintas clases de severidad observada a un nivel de significación del 0.05. De forma análoga los resultados recogidos en la Tabla 6 muestran esta separabilidad entre clases de severidad establecida -a partir de los umbrales de clasificación recogidos en la Tabla 5- al mismo nivel de significación.

Una comparativa a nivel global entre índices muestra que los mejores resultados de clasificación corresponden al índice d(LST/EVI), con una fiabilidad global del 74,71 y el 73,98% en las bandas 10 y 11 respectivamente (Tablas 7 y 8). Estos resultados resultan significativamente superiores a los ofrecidos por la LST-post (47,95%) y la dLST (46,93%), así como también mejoran los reportados por Zheng et al (2016) (66,29%). El análisis de estos mismos resultados a través del índice kappa, revela un acuerdo moderado para LST-post y dLST, incrementándose el acuerdo sustancial para d(LST/EVI).

Desde una perspectiva global, la comparativa de los resultados entre bandas muestra el comportamiento superior de la banda 10 frente a la 11, en todos los casos. Esta superioridad de la banda 10 también fue reportada por Yu et al (2014), y podría estar relacionada con la mayor sensibilidad de ésta para captar la variaciones de temperatura en relación con la severidad.

La comparativa de la concordancia por niveles de severidad revela las dificultades de los índices LTS -post y dLST para diferenciar las clases intermedias de severidad, 'baja' y 'moderada'. En esta línea otros estudios (Tanase et al, 2011) reportan la posibilidad de distinguir una sola clase de severidad; aludiendo en este sentido Miller & Thode (2007) a la imposibilidad de la teledetección pasiva para 'ver' bajo el dosel arbóreo. Sin embargo, Zheng et al (2016) apunta a las limitaciones de los índices basados exclusivamente en la LST en áreas afectadas por severidades medias y bajas, al inducir la vegetación remanente variaciones de temperatura motivadas por los procesos de evapotranspiración del dosel vegetal, más que a la afección del fuego propiamente dicha.

La Tabla 9 permite analizar la validación del índice d(LST/EVI) en la banda 10, por ser este el que mejor comportamiento demuestra. La fiabilidad global a nivel de incendio para el d(LST/EVI) en la banda 10 oscila entre el 40% del incendio de Segorbe1 y el 93% de Ayora. Los valores mínimo y máximo del índice kappa corresponden respectivamente a estos mismos incendios con un grado de acuerdo ligero para el caso de Segorbe1 y una acuerdo casi perfecto para Ayora.

Los resultados obtenidos en este trabajo para el índice $d(LST/EVI)$ superan a los derivados del trabajo *Zheng et al (2016)* en cuanto a fiabilidad y grado de acuerdo, suponiendo una mejora de casi 8.5 puntos porcentuales. Este hecho podría deberse a que en el presente trabajo, el cálculo de los índices se realizó a partir de imágenes post-incendio recientes, en contraposición a *Zheng et al (2016)* que utilizó imágenes tomadas un año después del incendio. En este sentido *Vlassova et al (2014)* encontró que la LST dependía del estado fenológico de la vegetación, la regeneración y del lapso temporal entre el momento de estimación de la severidad y la captura de la imagen satelital. En esta línea, *Quintano et al (2015)* demostró la correlación positiva entre la LST posterior y el CBI justo después del incendio, disminuyendo ésta durante el otoño y el invierno siguientes, y reforzándose de nuevo al verano siguiente. Otra posible razón a la que atribuir la citada mejoría podría encontrarse en la mayor sensibilidad del sensor térmico TIRS frente al sensor ETM+ empleado en *Zheng et al (2016)*.

La comparativa con los resultados ofrecidos por *Botella (2016)* en base a índices reflectivos revela un peor funcionamiento de los tres índices termo-reflectivos. Evaluados éstos en función de la fiabilidad global, los índices tradicionales mejoran de media 12 puntos porcentuales los resultados del índice $d(LST/EVI)$, siendo el RdNBR el que mejor resultados ofrece con una fiabilidad global de 88.9%. Este empeoramiento de los resultados por parte de los índices termo-reflectivos -y en especial de los basados exclusivamente en la temperatura de superficie (LST-post y dLST)- con respecto a los índices tradicionales, se contrapone a los trabajos de *Fernández-Manso & Quintano (2015)* y *Zheng et al (2016)*. En el primero de los casos, la combinación de la LSE con el índice NBR supuso una mejora de casi un 10% frente al índice simple. En el segundo de los trabajos, si bien la LST-post y la dLST proporcionaron peores resultados que los tres índices tradicionales, el $d(LST/EVI)$ supuso una mejora de 5 puntos porcentuales con respecto al índice RBR.

Por otra parte y atendiendo a las similitudes encontradas entre el trabajo de *Botella (2016)* y el actual, se encuentra la obtención de las mayores exactitudes de clasificación para la categoría de severidad alta (al margen de la categoría 'no quemado') para los tres índices estudiados, y con independencia de la banda considerada. La dificultad de los índices para discriminar las categorías intermedias de severidad es un hecho común a otros trabajos basados en la temperatura de superficie. En cualquier caso, la minimización de errores en clases de severidad alta constituye un beneficio probado para los gestores, dado que las áreas severamente quemadas suelen ser un foco de atención para éstos después de un incendio (*Fernández-Manso & Quintano, 2015*).

6. Conclusiones

La incorporación de la información de la temperatura de superficie en la estimación de la severidad de incendio en la Comunidad Valenciana, no mejora los resultados obtenidos mediante los índices tradicionales (dNBR, RdNBR y RBR) con respecto a trabajos anteriores; pudiendo deberse estos resultados a la dependencia observada de la LST de otros factores ajenos a la severidad del incendio. Una adecuada caracterización de la influencia de estos factores ajenos sobre la LST, apunta una mejora en la capacidad predictiva de los índices termo-reflectivos sobre la severidad de incendio, que convendría analizar en estudios posteriores.

7. Bibliografía

BOELMAN, N.; ROCHA, A.; SHAVER, G.; 2011. Understanding burn severity sensing in Arctic tundra: exploring vegetation indices, suboptimal assessment timing and the impact of increasing pixel size. *Int. J. Remote Sens.* 32, 7033–7056.

BOTELLA. M.A.; 2016. Estudio de la severidad de los incendios forestales en la Comunidad Valenciana utilizando los índices NBR, RdNBR y RBR derivados de imágenes Landsat 8. (Trabajo Fin de Máster inédito). Universidad de León. León.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; QUINTANO, C.; 2015. Evaluating Landsat ETM+ emissivity-enhanced spectral indices for burn severity discrimination in Mediterranean forest ecosystems, *Remote Sensing Letters*, 6:4, 302-310.

HUANG, S.; JIN, S.; DAHAL, D.; CHEN, X.; YOUNG, C.; LIU, H.; LIU, S.; 2013. Reconstructing satellite images to quantify spatially explicit land surface change caused by fires and succession: a demonstration in the Yukon River Basin of interior Alaska. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 79, 94–105.

Key, C. H.; Benson, N. C.; 2006. Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. USDA Forest Service General Technical Report RMS-GTR-164-CD, 1–55.

MILLER, J. D.; THODE, A. E.; 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80.

QUINTANO, C.; FERNÁNDEZ-MANSO, A.; CALVO, L.; MARCOS, E.; VALBUENA, L.; 2015. Land Surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 36, 1-12.

TANASE, M.; DE LA RIVA, J.; PÉREZ-CABELLO, F.; 2011. Estimating Burn Severity at the Regional Level Using Optically Based Indices. *Canadian Journal of Forest Research* 41, 863–872.

VERAVERBEKE, S.; HARRIS, S.; HOOK, S.; 2011. Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2702-2709.

VLASSOVA, L.; PÉREZ-CABELLO, F.; MIMBRERO, M.; LLOVERÍA, R.; GARCÍA-MARTÍN, A.; 2014. Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of Landsat images. *Remote Sensing*, 6, 6136-6162.

VLASSOVA, L. 2016.; Land Surface Temperature (LST) estimated from Landsat images: applications in burnt areas and tree-grass woodlands (dehesas) (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza. Zaragoza

YU, X.; GUO, X.; WU, Z.; 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS-comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sens.* 6, 9829–9852.

ZHENG, Z.; ZENG, Y. ; LI, S.; HUANG, W.; 2016. A new burn severity index based on land surface temperature and enhanced vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 45, 84-94.