

# Estudio de la homogeneidad de la temperatura de la superficie terrestre mediante imágenes MODIS de la zona de Doñana

D. Skoković, J. A. Sobrino, G. Sòria, J. C. Jiménez-Muñoz y Y. Julien

*Unidad de cambio global (UCG). Laboratorio de Procesado de Imágenes (IPL).*

*Universidad de Valencia (UVEG). C/ Catedrático José Beltrán 2.*

*Paterna, 46980 Valencia. Tel: 963544054*

---

## Resumen

La Reserva Biológica de Doñana (RBD) posee zonas extensas y variadas que permiten el uso de imágenes de sensores de alta, media y baja resolución para el desarrollo de las actividades de calibración/validación (cal/val). Para hallar zonas potenciales para las actividades de cal/val, se ha estudiado la homogeneidad de la temperatura de la superficie terrestre (TST) mediante imágenes MODIS durante los años 2011 y 2012. La metodología utilizada para este fin, se basa en la obtención de la desviación estándar de una parcela de 3x3 píxeles con la que se ha hallado la variabilidad espacial de la TST en tres puntos concretos de la RBD (marisma, vegetación autóctona y dunas). Como resultados podemos destacar; la homogeneidad de la marisma durante sus períodos de inundación y de la vegetación autóctona durante todo el año; y la validez del uso de las medidas obtenidas por las estaciones presentes en la RBD para la cal/val de sensores de baja resolución en el térmico.

**Palabras clave:** CAL/VAL, TST, RBD, homogeneidad, desviación estándar, marisma.

## Abstract

### Study of the land surface temperature homogeneity from MODIS imagery over the Doñana test site

Doñana Biological Reserve (RBD) has extensive and varied areas that allow remote sensing images using high, medium and low resolution for the development of calibration / validation activities (cal/val). To find potential areas for activities of cal/val, the study is based in the homogeneity of the land surface temperature (LST) using MODIS images during the time period between 2011 and 2012. The methodology uses the standard deviation of a plot of 3 x 3 pixels. With this parameter the spatial variability of LST is obtained in three particular points of RBD (Marsh, native vegetation and dunes). Results shows the homogeneity of the marsh during flood periods and native vegetation during the whole year and validate the measurements registered by the stations on the RBD for cal / val activities of low spatial resolution sensors.

**Key words:** Cal/Val, LST, RBD, homogeneity, standard deviation, marsh.

---

## Introducción

La calibración y validación (cal/val) de sensores de baja resolución se realiza en sitios homogéneos con una gran extensión como pueden ser los desiertos, lagos y océanos. Ya que el ac-

ceso a estas zonas resulta dificultoso (desiertos) o las medidas obtenidas por los sensores en el agua presentan una serie de inconvenientes como puede ser el efecto bulk-skin (Hook *et al.*, 2003), es interesante hallar zonas extensas y de fácil acceso para las actividades de cal/val. Por

---

\* Autor para la correspondencia: drazen.skokovic@uv.es  
Recibido: 31-10-13; Aceptado: 29-11-13.

eso, en el marco del proyecto CEOS-SPAIN para la búsqueda y puesta en marcha de zonas de cal/val de satélites, se están realizando estudios para la búsqueda de lugares que cumplan ciertas características para el desarrollo, con las mínimas incertidumbres posibles, de estas actividades por el territorio español. La homogeneidad es una de estas características que se requieren para la cal/val de satélites (Morain *et al.*, 2004 y Teillet *et al.*, 2007) por lo que, un estudio de la homogeneidad se hace necesario para la identificación de zonas potenciales para el desarrollo de estas actividades. Dependiendo del sensor que se desee calibrar/validar, la extensión de la zona variará según su resolución espacial, por lo que es importante disponer de zonas amplias para poder abarcar la mayor cantidad de sensores posibles. Una de las zonas que cumple esta característica es la Reserva Biológica de Doñana (RBD).

La RBD se encuentra en el suroeste de España. Posee un área de 3.560 km<sup>2</sup> que incluye una rica variedad de formas de relieve y tipos de vegetación representativas de las tierras bajas del Mediterráneo. El clima es de tipo mediterráneo subhúmedo y tiene una estacionalidad bien definida, con suaves y húmedos inviernos y veranos secos y calurosos. De acuerdo al estudio de Fernández *et al.* (2010) en este ecosistema están representados dos unidades ambientales generales: los Cotos, constituidos por suelos arenosos de origen eólico, arenas basales y limos, y las Marismas de suelos arcillosos que se originaron después de la ocupación del antiguo estuario del Río Guadalquivir.

Estas características de la RBD ofrecen, para el desarrollo de las actividades de cal/val, la posibilidad de usar imágenes de sensores de baja, media y alta resolución espacial, aprovechando las grandes extensiones que ofrecen las marismas, dunas y vegetación autóctona. La homogeneidad de todas estas superficies debe ser analizada a lo largo de las distintas épocas del año para identificar los periodos de tiempo en que esta es máxima.

## Metodología

Para el estudio de la homogeneidad sobre la RBD hemos utilizado las imágenes proporcionadas por el sensor MODIS de los años 2011

y 2012. Todas estas imágenes han sido adquiridas con la estación de recepción de imágenes de satélite del Laboratorio de Procesado de Imágenes de la Universidad de Valencia.

Para el análisis de las imágenes, se ha utilizado el producto de temperatura de la superficie terrestre (TST) obtenido por el método desarrollado por Sobrino *et al.* (2003), que posee una resolución de 1 × 1 km, y la máscara de nubes proporcionada por MODIS.

La metodología empleada para determinar la homogeneidad de un píxel se basa en la obtención de la desviación estándar, y la diferencia entre el valor máximo y mínimo, MMD, de una matriz de 3 × 3 píxeles, siempre que el mismo esté libre de nubes. Este procedimiento es necesario, ya que es la única forma de caracterizar la variabilidad espacial de la TST para un píxel dado (Hale *et al.*, 2011). De esta forma, mediante la desviación estándar obtendremos las diferencias de TST de nuestra píxel central con sus vecinos más cercanos, mientras que la MMD nos proporcionará una herramienta para la eliminación de valores extremos puntales que puedan darse en algún píxel concreto de la zona por la presencia de nubes que no hayan sido detectadas por la máscara. Para asegurarnos de que la influencia de nubes fuera mínima en nuestros análisis, solamente se escogieron las imágenes con una cobertura nubosa inferior al 20%.

Con las imágenes procesadas, se estimaron los productos mensuales de los años 2011 y 2012 para los valores diurnos y nocturnos por separado.

## Área de estudio

De las zonas naturales sin transformar de la RBD, se han escogido tres áreas del parque características de la zona: Estas áreas son la marisma, las dunas y la vegetación autóctona y su localización aproximada podemos verla en la Tabla 1. Esta localización coincide con las estaciones presentes en la RBD y que disponen de radiómetros para el registro continuo de la TST.

La parcela de las dunas, es la zona del parque con los relieves más acusados, alcanzando alturas de hasta 40 m. Está formada por arena y vegetación de tipo bajo. Su extensión no

**Tabla 1.** Coordenadas de las superficies analizadas

Marisma	36.992 N	6.442 W
Vegetación	37.008 N	6.506 W
Dunas	36.917 N	6.417 W

es muy grande, en comparación con la resolución ofrecida por MODIS. La parcela de vegetación autóctona no presenta cambios tan abruptos de relieve y posee una vegetación de matorrales más densa que las dunas. Su extensión es muy grande y ocupa una gran área de la parte oeste del parque. Finalmente, la marisma, presenta un ciclo anual característico de inundaciones que comienzan en los meses de octubre-noviembre y alcanza su máximo sobre los meses de enero-febrero. Este ciclo no siempre se cumple, ya que depende mucho del régimen de lluvias a lo largo del año. Cuando la marisma se seca, la mayor parte de esta está formada por un suelo arcilloso que alberga una gran cantidad de vegetación marismeña. En la Figura 1, podemos apreciar los diferentes tipos de superficie a estudiar.

## Resultados

Ya que la superficie de la marisma varía mucho a lo largo del año, con gran dependencia del régimen de lluvias, el estudio se ha dividido en dos períodos de tiempo: marisma inundada y marisma seca. Para ello se han identificado los períodos de tiempo en que estaba inundada la marisma y se han comparado con los períodos secos (Figura 2).

En el año 2011 la marisma estuvo inundada hasta bien entrado el mes de mayo y durante el año 2012, sólo durante los meses de abril y mayo, aunque parcialmente, sí que estuvo inundada nuestra zona de estudio. En este período, y en base a la Figura 2, se observa una diferencia de entorno a unos 0.5 K entre los períodos de inundación de la marisma y los de sequía durante los primeros meses del año. Para el resto de meses, la desviación de la TST es muy parecida.

En la Figura 3 podremos apreciar la homogeneidad de la marisma para dos imágenes del mes de Marzo. Una para el año 2011 y otra para el 2012. En ella apreciamos claramente que

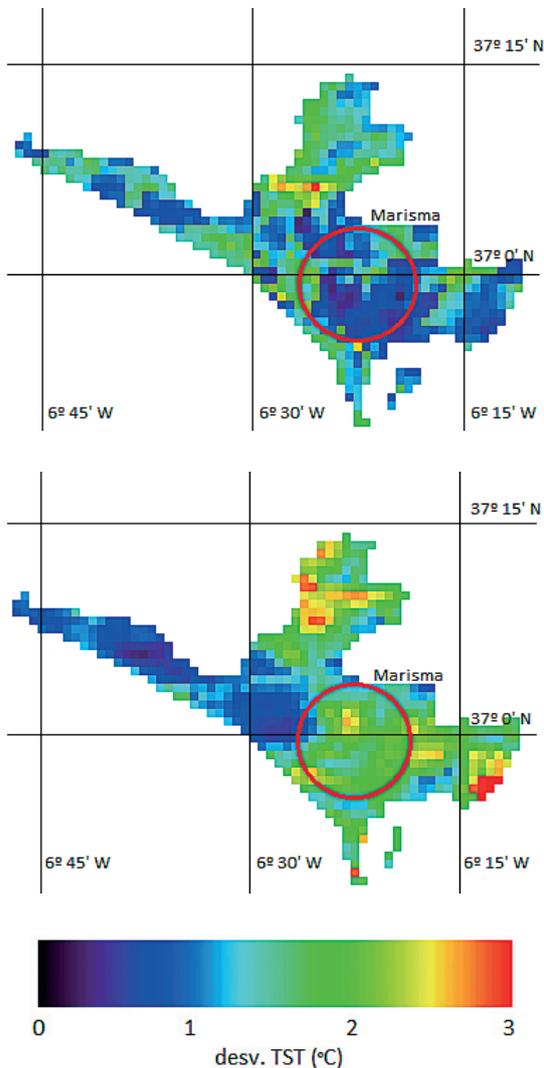


**Figura 1.** De arriba a abajo: Imagen de la marisma inundada; dunas de la RBD; zona de «El Ojillo» perteneciente a la vegetación autóctona.

la homogeneidad de la TST es mucho mayor cuando la marisma está inundada que cuando está seca. Además, durante los períodos de pocas lluvias, como el Marzo de 2012, la vegetación es más homogénea que en los períodos lluviosos. Esto se debe al poco contraste que existe en la TST entre los suelos arenosos y la vegeta-



**Figura 2.** Valores de la desviación estándar de la TST a lo largo del año para la marisma.



**Figura 3.** Imagen de la desviación estándar de la TST en la zona de la RBD durante el mes de marzo. Arriba: Imagen del año 2011 Abajo: Imagen del año 2012.

ción seca, mientras que para la vegetación verde, el contraste de la TST si es significativo.

Realizando el promedio de la desviación estándar de la TST para todos los meses estudiados, obtenemos la Tabla 2, en la que apreciamos la variación media de la TST para nuestras zonas de estudio. En ella observamos cómo la zona de vegetación es la más homogénea durante todo el año, mientras que la zona de las dunas es la que más desviación estándar de la TST presenta. Esto es debido, en parte, al relieve de las dunas y a su pequeña extensión en comparación con el píxel ofrecido por MODIS, mientras que la vegetación, al cubrir un área muy grande de la zona, es mucho más homogénea, sobre todo en los periodos de pocas precipitaciones, como se ha mencionado anteriormente. La marisma, sólo en los periodos de inundación, es la que menor variabilidad de la TST presenta. En la Figura 4, presentamos los resultados de una forma más clara y en la que puede verse la distribución espacial de la homogeneidad por toda el área de la RBD.

Se aprecia cómo la parte oeste de RBD es la más homogénea durante todo el año, observándose variaciones de la TST de 1 K que corresponden a la zona de la vegetación autóctona. La zona de la marisma, dependiendo de la parte en la que nos encontremos variará de entre 1.7 K en la zona de Fuente Duque, hasta los 3.5 K de la zona del centro y sur de la marisma. Para el resto de la zona de la RBD, parte norte, este y dunas, la desviación de la TST es bastante alta y ronda los 4 K.

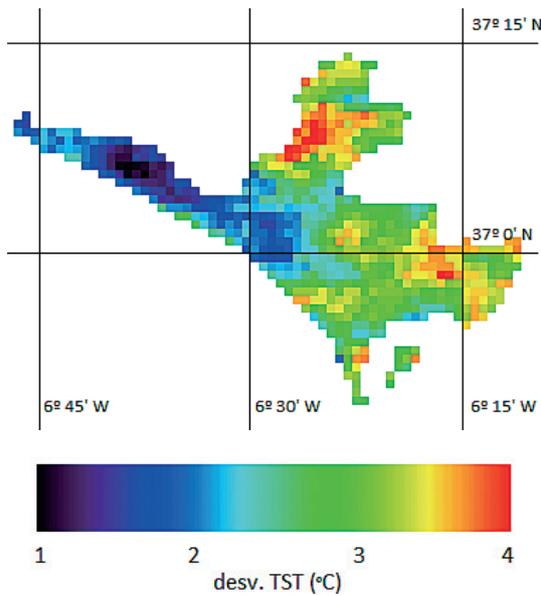
Además de analizar la distribución espacial de la desviación estándar de la TST, también se ha estudiado como varía esta con el tiempo. En concreto se han obtenido los valores medios de la desviación estándar de la TST para los meses estivales y los meses invernales. En la Tabla 3 observamos cómo durante los meses

**Tabla 2.** Promedio de la desviación estándar de la TST de los años 2011 y 2012 para una matriz de  $3 \times 3$  píxeles centrada en las coordenadas de la marisma, vegetación y dunas, con sus respectivos errores

Zona	dTST	SD <sub>error</sub>
Marisma inundada	0.9	0.4
Marisma seca	2.2	0.8
Vegetación	1.0	0.4
Dunas	3.2	1.4

**Tabla 3.** Promedio estándar de la desviación estándar de la TST, dividida en el período invernal y estival, de los años 2011 y 2012 para una matriz de 3 × 3 píxeles centrada en las coordenadas de la marisma, vegetación y dunas, con sus respectivos errores

Zona	dTST invernal	SD <sub>error</sub>	dTST estival	SD <sub>error</sub>
Marisma seca	1.6	0.6	2.6	1.1
Vegetación	0.8	0.3	1.4	0.5
Dunas	2.7	1.2	3.5	1.5

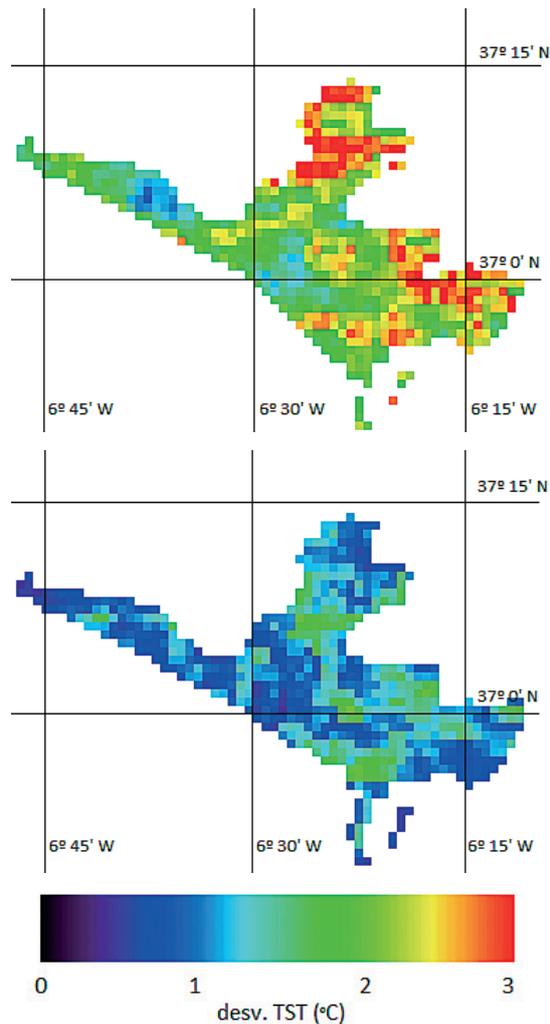


**Figura 4.** Imagen de la desviación estándar de la TST en la zona de la RBD para el periodo 2011-2012.

invernales la homogeneidad de la TST es mayor para nuestras zonas de estudio debido al menor aporte energético del Sol, lo que produce una equiparación, para todas las superficies, de la TST. Esta diferencia de homogeneidad de la superficie entre los períodos estivales e invernales la podemos apreciar perfectamente entre las imágenes de la desviación estándar de la TST durante los meses de agosto y noviembre del año 2011 (Figura 5), en la que obtenemos que la diferencia media entre las dos escenas es de 1 K, con diferencias significativas de hasta 2 K en la parte norte y este de la RBD.

### Aplicaciones

Una de las aplicaciones es la cal/val de sensores de baja resolución. Para ello, validare-



**Figura 5.** Imagen de la desviación estándar de la TST en la zona de la RBD durante el año 2011. Arriba: mes de agosto; Abajo: mes de noviembre.

mos el producto de TST (MOD11) ofrecido por MODIS con el radiómetro ubicado en la estación de Fuente Duque, ubicada en la marisma, cuyas coordenadas se mencionaron anteriormente en la Tabla 1. Ya que anteriormente se ha comentado que la desviación espacial de la TST

**Tabla 4.** Comparación de la TST obtenida por el producto MOD11 de MODIS con las medidas in situ para la zona de la marisma durante el año 2011

Período	Fecha	MODIS TST (K)	IN SITU TST (K)	$\Delta_{\text{MOD-SITU}}$ (K)	RMSE (K)	R <sup>2</sup>
<b>Invernal/ Marisma inundada</b>	24/03/2011	293.8	293.2	0.6		
	09/04/2011	298.7	299.2	-0.5		
	13/05/2011	301.7	302.5	-0.8		
	17/10/2011	303.3	303.8	-0.5		
	17/11/2011	292.5	294.1	-1.6		
	07/12/2011	287.8	288.3	-0.5		
<b>Estival</b>	08/06/2011	298.9	297.8	1.1		
	03/07/2011	299.6	300.3	-0.7		
	05/07/2011	309.8	309.1	0.7		
	14/07/2011	309.7	307.1	2.6		
	26/07/2011	308.5	310.7	-2.2		
	01/09/2011	297.1	297.1	0.0		
	06/09/2011	312	311.9	0.1		
	<b>Invernal/Marisma inundada</b>					0.90
<b>Estival</b>					1.51	0.94

en la marisma es menor en los periodos de inundación y en el periodo invernal, la validación se ha separado en dos periodos: Uno con valores estivales, y otro con invernales y con la marisma inundada.

En la Tabla 4 se puede observar cómo para los meses invernales se obtiene un RMSE de 0.9 K lo que nos indica que el error de la validación está dentro del límite ofrecido por el producto de LST que es de 1 K (Wan *et al.*, 2002). Para los meses estivales el error es un poco mayor tal como predecía el estudio realizado, pero aun así sigue estando dentro del valor requerido (0.5-2 K) para las investigaciones agrícolas, hidrológicas y meteorológicas con resoluciones entre 1-10 km (CEOS & WMO, 2010; GCOS, 2006). Esto nos muestra que la RBD, en su zona de la marisma y vegetación autóctona, es perfectamente apta para la cal/val de sensores de baja resolución en el térmico.

## Conclusiones

En este trabajo hemos estudiado los periodos y zonas más homogéneas de la RBD. Para ello nos hemos basado en las imágenes MODIS obtenidas durante los años 2011 y 2012 con la estación de recepción del Laboratorio

de Procesado de Imágenes de la Universidad de Valencia.

De entre los datos más relevantes extraídos de este estudio, podemos concluir que la zona oeste, correspondiente a la vegetación autóctona, es el lugar que presenta las mejores condiciones de homogeneidad durante todo el año, no superando la desviación estándar de la TST con sus píxeles vecinos los 2 K. Si nos centramos en un periodo de tiempo concreto, la marisma (cuando está inundada) y la vegetación autóctona (en meses invernales) presentan los valores más altos de homogeneidad ya que su desviación estándar de la TST no supera el grado centígrado.

Con ello, tenemos que la marisma y la vegetación autóctona son zonas ideales para las actividades de cal/val de satélites, ya que presentan errores espaciales aceptables inferiores a 1 K para validar productos de TST obtenidos con sensores de baja resolución en el térmico, como MODIS y VIIRS, o el futuro SLSTR a bordo de Sentinel-3. Estas zonas se ofrecen como una alternativa a las calibraciones tradicionales que se realizan sobre zonas de agua (mares y lagos).

Finalmente, mediante este estudio, hemos demostrado la validez del uso de las medidas obtenidas por las estaciones presentes en la RBD para la cal/val de sensores, tanto de baja como de alta resolución, en el espectro térmico.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía (proyecto CEOS-SPAIN)

## Bibliografía

- CEOS, WMO. «Revision of AOPC requirements in WMO/CEOS database», Submitted by the Secretariat, 4 pp (2010).
- WMO, GCOS-107. «Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate». WMO TD, 1338, 90 (2006).
- FERNÁNDEZ, N., PARUELO, J. M., & DELIBES, M. 2010, Ecosystem functioning of protected and altered Mediterranean environments: A remote sensing classification in Doñana, Spain, *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, Issue 1, ISSN 0034-4257.
- HALE, R. C., GALLO, K. P., TARPLEY, D., & YU, Y. 2011, Characterization of variability at in situ locations for calibration/validation of satellite-derived land surface temperature data, *Remote Sensing Letters*, vol. 2, no. 1, 41-50.
- HOOK, S. J., PRATA, F. J., ALLEY, R. E., ABTAHI, A., RICHARDS, R. C., SCHLADOW, S. G., *et al.* (2003). Retrieval of lake bulk and skin temperatures using Along-Track Scanning Radiometer (ATSR-2) data: A case study using Lake Tahoe, California. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(4), 534-548.
- MORAIN, S., & BUDGE, M. A. 2004. Post-Launch Calibration of Satellite Sensors, *ISPRS Book Series - Volume 2*, pp.181-187.
- SOBRINO, J. A., EL KHARRAZ, J., & LI, Z. L. 2003. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, 24, 5161-5182.
- TEILLET, P. M., BARSÍ, J. A., CHANDER, G., & THOME, K. J. 2007. Prime candidate earth targets for the post-launch radiometric calibration of space-based optical imaging instruments. *Proceedings of SPIE*, vol. 6677, 66770S.
- WAN, Z., ZHANG, Y., ZHANG, Q., & LI, Z.-L. (2002). Validation of the landsurface temperature products retrieved from Terra moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 163-180.