

Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la temperatura de superficie en ecosistemas de dehesa mediante imágenes Landsat TM y datos del SIOSE

L. Vlassova^{1,3}, F. Pérez-Cabello¹, O. Rosero Vlasova¹, R. Montorio Llovería¹, M.P. Martín Isabel²

¹ Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio-IUCA, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50.009 Zaragoza.

² Instituto de Economía, Geografía y Demografía (IEGD)- Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). C/ Albasanz 26-28, 28.037 Madrid.

³ Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Vía a Sto. Domingo km.1.5, EC120509 Quevedo, Ecuador.

vlassova@unizar.es, fcabello@unizar.es, oarosero@unizar.es, lloveria@unizar.es, mpilar.martin@cchs.csic.es

RESUMEN: Las dehesas son sistemas agro-forestales en los que se producen complejos mecanismos de intercambio de carbono y agua debido a la presencia de estratos de vegetación diferenciados (pastizal, arbolado y matorral), en un marco climático caracterizado por periodos de sequía. Dichos componentes no se dan en las mismas proporciones constituyendo complejos mosaicos en función del tipo de manejo, la densidad del arbolado y el momento de año. En este contexto, una de las variables clave en la parametrización del balance energético entre el suelo y atmósfera es la temperatura de superficie (Ts). El análisis de sus patrones espacio-temporales es importante para valorar el papel de la dehesa como sumidero de carbono, por cuanto la Ts controla la velocidad de procesos metabólicos en la vegetación y la descomposición de la materia orgánica del suelo, influyendo de esta manera en la transferencia neta del carbono hacia la atmósfera. Este trabajo analiza la variación espacio-temporal de la Ts en función de la densidad y tipo de arbolado. Utilizando como referencia el SIOSE (PNOT) se analizan las diferencias espacio-temporales de los valores de Ts, calculados a partir de una serie multitemporal de imágenes Landsat-5 TM. En este trabajo se presentan los resultados cartográficos en 14 fechas a lo largo del período de 2009-2011. Se han detectado diferencias estadísticamente significativas en los valores de Ts en función de la densidad del arbolado, así que los valores de Ts más elevados se localizan en las dehesas con menor cubierta de *Quercus ilex* y de especies arbustivas. Debido a la mayor variabilidad eco-fisiológica del estrato herbáceo, las diferencias medias más acusadas se registran en las imágenes de verano.

Palabras-clave: temperatura de superficie, SIOSE, LANDSAT, dehesa.

1. INTRODUCCIÓN

El término *dehesa* refiere a un tipo de monte arbolado de uso agrosilvopastoril (San Miguel, 1994) que principalmente se localiza en la parte suroccidental de la Península Ibérica, extendiéndose en España sobre una superficie de más de 3,5 millones de hectáreas (Olea et al., 2005). La dehesa se caracteriza por su estructura en dos estratos (arbolado/matorral disperso y pastizal o cultivo) siendo *Quercus ilex* L. subsp. *ballota*, *Quercus suber*, *Quercus faginea* Lam. y diferentes arbustos perennifolios, las especies principales que conforman el estrato leñoso. La fracción de cabida cubierta más habitual oscila entre el 5 y el 60% con una densidad de 40-90 pies por hectárea. El pastizal presenta un reducido potencial productivo que depende de la pluviometría. Entre los taxones más representativos de la fracción herbácea encontramos especies como *Trifolium glomeratum* L., *Echium plantagineum* L., *Spergula arvensis* L., *Rumex acetosella* L., *Erygium campestre* L. o *Erodium cicutarium* L.

Las dehesas constituyen un claro ejemplo de gestión sostenible, siendo ecosistemas de alto valor ecológico, socio-cultural y económico. Sin embargo, en la actualidad, sobre su perdurabilidad se ciernen numerosos problemas relacionados con el sobrepastoreo, la intensificación del laboreo agrícola o la escasez de regeneración del arbolado. El predominio de los árboles de edad intermedia/avanzada y la ausencia de

plantas jóvenes constituye uno de los problemas más importantes. Según datos del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) en la provincia de Cáceres, la regeneración se considera insuficiente o nula en 2/3 de la superficie evaluada a nivel nacional (Pulido y Picardo, 2010). Se hace, por tanto, indispensable desarrollar planes de regeneración del arbolado estableciendo la fracción de cabida cubierta que permita el mantenimiento de sus funciones productivas y ecológicas (protección frente a la erosión, mantenimiento de la biodiversidad y regulación de los flujos de carbono y agua).

En las dehesas los mecanismos de intercambio de carbono y agua son complejos debido a la presencia de estratos de vegetación diferenciados desde el punto de vista eco-fisiológico. La temperatura de superficie (T_s) es una de las claves en la modelización del intercambio de energía, agua y carbono entre la vegetación, suelo y atmósfera debido a su participación en el control de la tasa metabólica de las plantas y en la descomposición de la materia orgánica del suelo, dos aspectos muy importantes en relación con la transferencia neta de carbono a la atmósfera (Miquelajauregui, 2013). Se trata de un parámetro muy dinámico que depende, entre otros factores, de la temperatura atmosférica y del viento, así como de la emisividad de los diferentes componentes bióticos y abióticos que conforman la dehesa (Quattrochi y Luvall, 2000).

Las imágenes Landsat-5 TM (*Thematic Mapper*), además de haber sido utilizadas profusamente en el estudio de la distribución espacio-temporal de diferentes propiedades biofísicas de la vegetación (clorofila, cubrimiento, LAI, fAPAR, etc.) a partir de la información captada en la región del espectro óptico, poseen una banda en el infrarrojo térmico que posibilita la modelización espacial de la T_s . En este contexto, la utilización conjunta de índices de vegetación procedentes de información multispectral, T_s e información sobre las proporciones que ocupan diferentes estratos (a partir de documentación cartográfica como la proporcionada por el SIOSE), puede permitir la identificación de patrones espacio-temporales en relación con los ciclos de carbono y agua en los ecosistemas de dehesa.

El objetivo de este trabajo consiste en el análisis espacio-temporal de la T_s en función de la densidad y tipo de arbolado en una zona representativa de los ecosistemas de dehesa (Norte de la provincia de Cáceres), que está siendo objeto de estudio en el marco del proyecto de investigación FLUXPEC (CGL2012-34383): “Seguimiento de flujos de agua y carbono mediante teledetección en ecosistemas mediterráneos de dehesa” (<http://www.lineas.cchs.csic.es/fluxpec/>). El conocimiento de la variación espacio-temporal de la T_s en función de la espesura del arbolado puede contribuir a la identificación de los niveles de densidad más recomendables, al menos en relación con una de sus funciones ecológicas (ciclos de carbono y agua), pudiendo contribuir positivamente en el diseño de los planes de regeneración de la dehesa.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La zona de estudio, de 350 km², está situada en un ecosistema de dehesa con diferentes densidades de arbolado en el noreste de la provincia de Cáceres (Figura 1). En ella se localiza (Lat. 39,9415° N, Lon. 5,7734° W) una torre de medición de flujos de agua y carbono por el sistema *Eddy Covariance* gestionada por el CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) desde el año 2003. El área se caracteriza por un clima típico mediterráneo con veranos secos y calurosos e inviernos húmedos y templados. La temperatura y precipitación media anual son 16,7° C y 572 mm, respectivamente. La altitud media sobre el nivel del mar es de 256 m.

2.2. Imágenes de satélite

El estudio se basa en una serie multitemporal de 14 imágenes Landsat-5 TM adquiridas sobre el área de estudio entre junio de 2009 y septiembre de 2011 (Tabla 1). En el estudio se utilizaron las bandas ópticas en las regiones espectrales de rojo (0,63-0,69 μm) e infrarrojo cercano (0,76-0,90 μm), con una resolución espacial de 30 m, y la banda térmica (10,4-12,5 μm), con una resolución de 120 m. Las imágenes georreferenciadas se descargaron del servidor de USGS (https://lpdaac.usgs.gov/get_data/data_pool).

Tabla 1. Fechas y condiciones de iluminación en el momento de adquisición de las imágenes utilizadas.

FECHA	Hora (UTC)	Azimut solar (grados)	Elevación solar (grados)	Estación meteorológica
27-jun-09	10:50:18	123,55	63,88	verano
29-jul-09	10:50:49	128,98	59,94	verano
30-ago-09	10:51:18	141,13	52,63	verano
17-oct-09	10:51:53	156,52	37,36	otoño
10-mar-10	10:52:43	146,85	40,13	primavera
11-abr-10	10:52:40	141,79	52,28	primavera
30-jun-10	10:52:19	124,31	64,00	verano
16-jul-10	10:52:16	126,06	62,26	verano
01-ago-10	10:52:10	130,34	59,61	verano
05-nov-10	10:51:34	159,16	31,40	otoño
16-may-11	10:51:20	132,51	61,79	primavera
01-jun-11	10:51:13	127,86	63,89	verano
04-ago-11	10:50:41	130,72	58,86	verano
05-sep-11	10:50:24	142,93	50,94	otoño

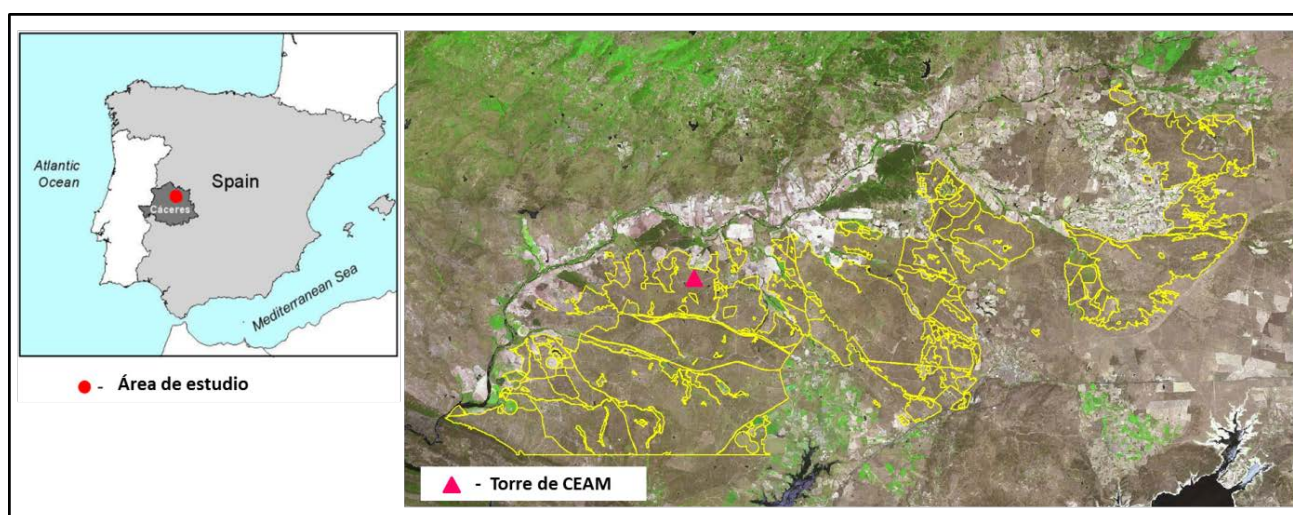


Figura 1. Ubicación y ortofoto del área de estudio. Las líneas amarillas representan el perímetro de los polígonos del SIOSE que delimitan la zona de dehesa analizada.

Para la corrección atmosférica de las reflectividades se ha utilizado la herramienta LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System), basada en el código de transferencia radiativa 6S (Wolfe et al., 2004). El algoritmo emplea datos auxiliares (ozono, vapor de agua, grosor óptico de la atmósfera) para corregir en las imágenes las distorsiones causadas por la dispersión y absorción atmosférica. En el caso de los datos térmicos, los niveles digitales originales fueron transformados primero a valores de radiancia y luego en temperatura de brillo usando las constantes de calibración proporcionadas en los metadatos (Chander et al., 2009).

2.3. Estimación de la temperatura de superficie e índice de vegetación

La temperatura de superficie (T_s) ha sido estimada mediante el método de monocanal (Jiménez-Muñoz et al., 2010) que, aparte de la emisividad de la superficie ε requerida por cualquier algoritmo de T_s , sólo precisa conocer el contenido de vapor en la atmósfera como dato auxiliar. La T_s se calcula usando la ecuación:

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{sensor} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad (1)$$

donde γ and δ son parámetros calculados a partir de la radiancia (L_{sensor}) y temperatura de brillo (T_{sensor}) usando las expresiones:

$$\gamma \approx \frac{T_{sensor}^2}{1256L_{sensor}} \quad (2) \quad \delta \approx T_{sensor} - \frac{T_{sensor}^2}{1256L_{sensor}} \quad (3)$$

y ψ_1, ψ_2, ψ_3 son funciones atmosféricas, que para Landsat-5 TM vienen dadas por:

$$\psi_1 = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234 \quad (4a)$$

$$\psi_2 = -1.1836w^2 - 0.37607w - 0.52894 \quad (4b)$$

$$\psi_3 = -0.04554w^2 + 1.8719w - 0.39071 \quad (4c)$$

siendo w el contenido total del vapor en la atmósfera en $g\ cm^{-2}$. En este estudio se utilizaron los valores de vapor atmosférico de la base de datos del Centro Nacional para Análisis Atmosférico de EEUU, disponible en <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surface.html>. El método es capaz de estimar la T_s con un margen de error $\pm 1^\circ C$ cuando el contenido de vapor atmosférico se encuentra en el rango de $0,5 - 2,5\ g\ cm^{-2}$ (Jiménez-Muñoz et al., 2010).

Para el análisis temporal de la vegetación se ha utilizado el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974), que se basa en la diferencia en la reflectividad entre las bandas de las regiones espectrales Rojo (banda 3) e Infrarrojo cercano (banda 4) característica para las plantas. El NDVI también se aplicó para estimar la emisividad, para lo cual se utilizó el método de umbrales de NDVI de Sobrino y Raissouni (2000), que asigna los valores de emisividad de acuerdo a los rangos de NDVI.

2.4. Datos procedentes del SIOSE

Para cuantificar y localizar espacialmente el área cubierta por los diferentes estratos de vegetación presentes en la dehesa se han utilizado los datos del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) incluido en el Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), coordinado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La información consiste en capas de polígonos georeferenciados en proyección UTM (zona 30N, datum ETRS89) con la escala de referencia 1:25000 (<http://www.siose.es>).

A partir de la cobertura 701 dehesa (código DHS) se ha extraído la información referente al porcentaje de cubrimiento de FDC (Fronosas Caducifolias), FDP (Fronosas Perennifolias), MTR (Matorral) y PST (Pastizal).

2.5. Análisis estadístico

A partir de los datos del SIOSE se han establecido 6 categorías de dehesa en función del grado de cubrimiento del pastizal: $< 10\%$; $10-30\%$; $30-50\%$; $50-70\%$; $70-90\%$; $>90\%$. La determinación de los intervalos se basó en dos criterios: (1) generar intervalos regulares en ambas direcciones a partir de 50% de la superficie de pastizal, siendo este el umbral que se suele manejar para definir el término dehesa (Pulido y Picardo, 2010); (2) disponer de número suficiente de píxeles por categoría para hacer posible el equilibrio de las submuestras en el análisis estadístico. Para evitar la contaminación de los resultados por la influencia de los componentes no propios de la dehesa, se han excluido del análisis los polígonos con presencia de cualquier otro elemento aparte de los arriba mencionados (por ejemplo, cultivos). El análisis se concentró en los dos componentes estructurales de la dehesa: el estrato con presencia del material leñoso que agrupa los elementos con contribución arbórea y matorral (FDC, FDP y MTR), y el estrato herbáceo representado por PST.

En cada categoría se ha identificado una muestra aleatoria de 1000 puntos (píxeles de la imagen) con el propósito de representar de manera equilibrada las 6 categorías de dehesa analizadas, realizándose ANOVAs para determinar la existencia de diferencias significativas entre categorías. Además, considerando los ciclos anuales de las variables climáticas y fenología del componente herbáceo de la dehesa, se han generado y analizado los compuestos de los datos correspondientes a los valores promedio de imágenes de cada estación meteorológica (primavera, verano y otoño).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 presenta la distribución espacial de la temperatura de superficie correspondiente a cuatro fechas representativas de la primavera (11 de abril de 2010), verano (4 de agosto de 2009) y otoño (5 de septiembre de 2011 y 17 de octubre de 2010). En la parte superior de la figura 2 se muestra además la

distribución espacial de las 6 categorías de dehesa, establecidas según los porcentajes de recubrimiento del pastizal a partir de los polígonos del SIOSE.

En septiembre (Figura 2c) y octubre (Figura 2d) se observa un contraste térmico moderado entre los sectores oriental y occidental de la zona de estudio. En este sentido, la mitad oriental de la zona presenta, en términos generales, una mayor temperatura superficial que la zona occidental, siendo el contraste más acusado en octubre que en septiembre. En agosto (Figura 2b) el contraste en sentido longitudinal es menos marcado, en su defecto el modelo de distribución espacial se resuelve en una serie de manchas de escaso tamaño repartidas a lo largo de toda el área de estudio. En abril (Figura 2a) los extremos oriental y occidental del área de estudio muestran una menor T_s que la zona central.

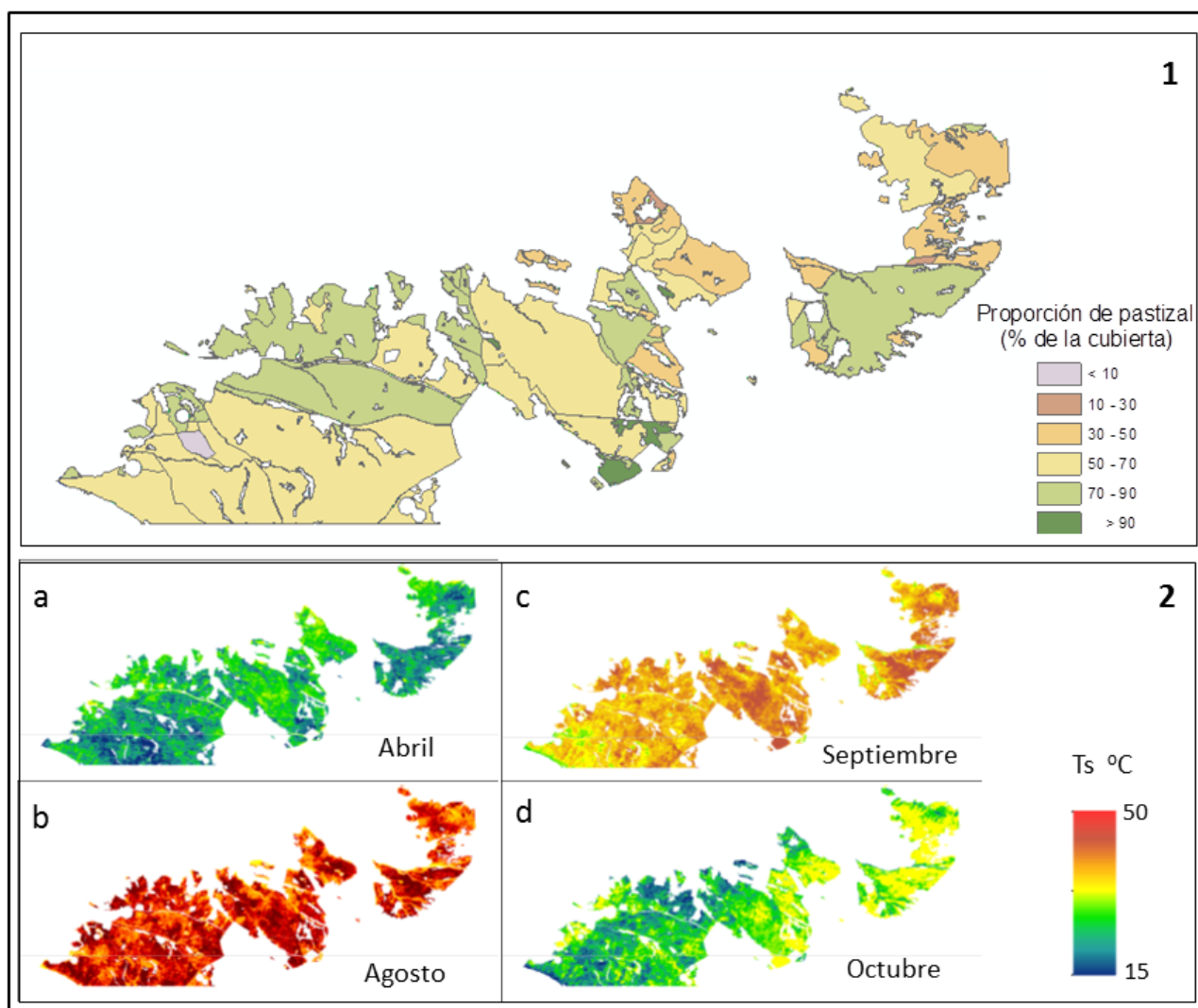


Figura 2. Tipos de dehesa y distribución de la T_s estimada a partir de las imágenes Landsat-5 TM en el área de estudio.

La Tabla 2 recoge los estadísticos descriptivos de los valores de T_s extraídos de las distintas categorías de dehesa para las imágenes analizadas. En el verano la distribución espacial de la T_s sigue un patrón controlado por la fracción del pastizal, de modo que los valores de T_s más bajos se localizan en las zonas con menor porcentaje de pastizal o, lo que es lo mismo, donde la densidad del arbolado es mayor. Asimismo, la T_s más elevada se recoge en los sectores en donde el pastizal cubre más del 90% de la superficie. Las diferencias entre los valores promedio de las categorías extremas (<10% y >90%) se aproximan a los 5°C. Este patrón no se observa en las categorías intermedias. En concreto, la categoría 50-70% presenta una T_s media sensiblemente más baja que la categoría anterior (30-50%). Uno de los factores que podría explicar este fenómeno sería el hecho de que se trata de la categoría con mayor representación espacial (Figura 2), en

la que se incluyen varios de los polígonos más extensos y donde la categoría 50-70% ocupa más de la mitad del área de estudio pudiendo ser por esa razón más heterogénea en varios aspectos (distribución de la cobertura arbórea y matorral, un mayor número de tipos de pastizal, tipos de manejo, etc.).

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la Ts (°C) por categorías de dehesa y estaciones.

	Categoría (% de pastizal)	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>Ts_verano</i>	<10%	40,06	0,90	37,13	42,88
	10-30%	41,98	1,14	36,74	44,60
	30-50%	43,29	1,30	36,65	45,42
	50-70%	42,64	1,29	38,24	46,77
	70-90%	43,36	1,32	37,24	47,24
	>90%	44,93	0,93	39,77	46,64
<i>Ts_primavera</i>	<10%	25,69	0,56	24,13	27,11
	10-30%	27,66	0,94	24,61	30,28
	30-50%	28,15	0,96	24,59	30,35
	50-70%	26,65	1,22	22,75	30,74
	70-90%	27,42	1,20	24,30	31,48
	>90%	26,84	0,99	23,49	28,93
<i>Ts_otoño</i>	<10%	20,37	0,51	19,07	22,14
	10-30%	22,15	0,78	20,05	24,15
	30-50%	22,38	0,94	19,11	25,40
	50-70%	21,39	0,93	18,62	24,91
	70-90%	21,93	0,99	19,19	24,24
	>90%	23,74	0,64	21,13	25,35

La relación entre los niveles de la Ts y la proporción de pastizal en la cubierta se evidencia en la mayoría de las fechas correspondientes a verano y otoño. En otoño la diferencia en los valores medios de la Ts de las categorías extremas es más moderada ($-3,5^{\circ}\text{C}$) en relación con la del verano. En primavera no se observa ningún patrón en función de la proporción del estrato herbáceo en la cobertura. La temperatura media a partir de las tres fechas disponibles en primavera se sitúa en los 27°C y aunque la Ts más baja se observa en la categoría <10%, los valores más elevados se registran en la categoría 30-50%. La figura 3 recoge la distribución de la Ts por categorías en función de la ocupación del pastizal mostrando los intervalos de confianza para la media al 95%.

La mayor Ts de las zonas con los porcentajes elevados de pastizal en verano se relaciona con la senescencia y el incremento de la contribución del suelo desnudo a la radiación emitida que se traduce en una mayor Ts. Además, estas áreas no presentan zonas de sombras al no disponer de arbolado, lo que contribuye al incremento de la Ts. La mayor presencia de pastizal verde en primavera, especialmente a finales de abril (San Miguel 2009), explicaría la inexistencia de gradientes térmicos en relación con las categorías de dehesa analizadas. En otoño, a pesar de existir un máximo secundario en la producción de biomasa a principios de noviembre, se recoge un patrón de distribución semejante al de verano.

Un aspecto significativo es el hecho de que cuando FDC (*Quercus faginea*) representa la mayor parte del arbolado ocasiona un descenso térmico significativo en comparación con FDP (*Quercus ilex*). En la figura 4 se percibe con claridad que en las categorías 50-70% y 70-90% con amplia representación de FDC hay una mayor variabilidad térmica y una menor temperatura que en las categoría de 30-50% donde FDP es la especie arbórea dominante.

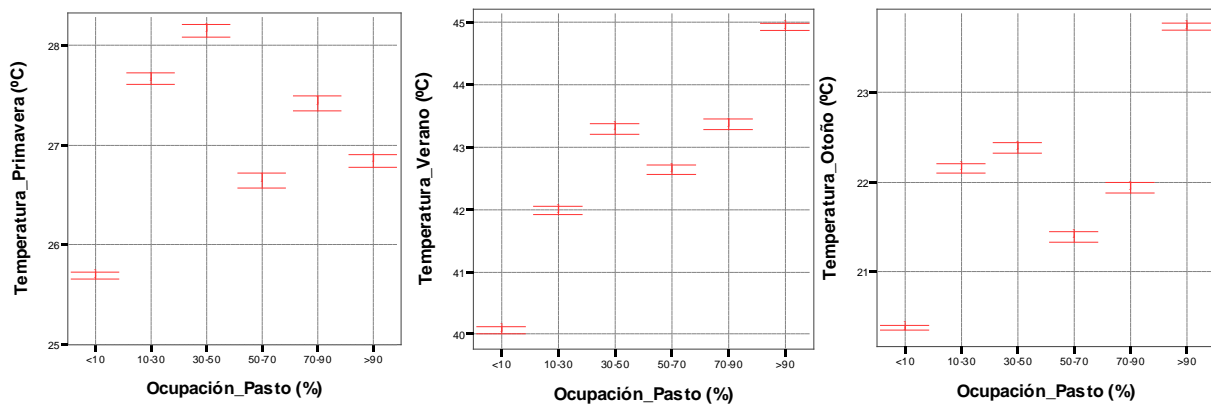


Figura 3. Distribución de la Ts (°C) por categorías de dehesa (según intervalos de ocupación del pastizal) en primavera (izquierda), verano (centro) y otoño (derecha). Las barras indican el intervalo de confianza 95% para el valor medio de Ts.

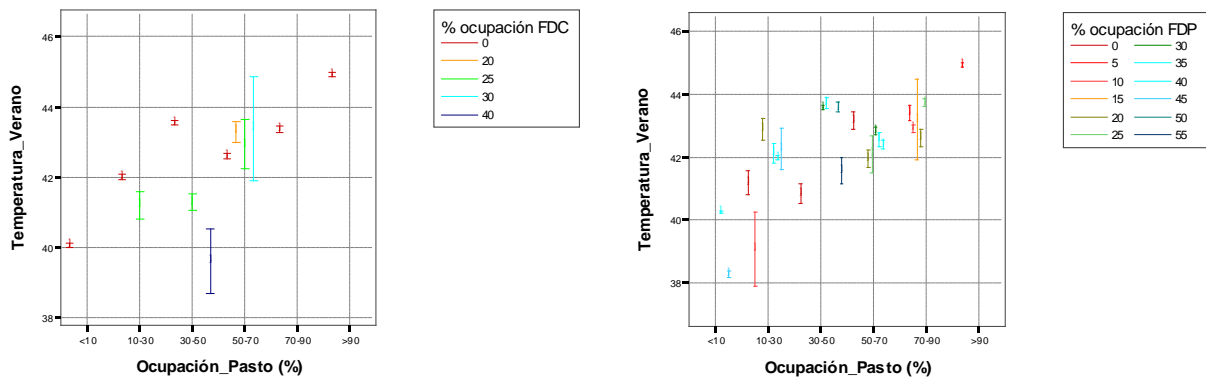


Figura 4. Distribución de la Ts (°C) por las categorías de dehesa (según intervalos de ocupación del pastizal) en verano. En color se muestra la participación en el estrato arbóreo de FDC (*Quercus faginea*) y FDP (*Quercus ilex*). Las barras indican el intervalo de confianza 95% para el valor medio de la Ts.

Los diagramas de dispersión de la figura 5 representan las relaciones entre los valores promedio de la Ts y los promedios de NDVI en primavera (5A), verano (5B) y otoño (5C), mostrando con distintos colores los puntos de diferentes categorías. En los tres casos se advierte una relación negativa entre NDVI y Ts, especialmente durante el verano y el otoño. En las gráficas de verano (Figura 5B) y otoño (Figura 5C) los puntos correspondientes a las categorías extremas están agrupados formando manchas del color. Sin embargo, en primavera (Figura 5A) no existe la distribución de puntos por grupos correspondientes a categorías de dehesa por cuanto este es el momento del máximo desarrollo de la vegetación y elevada actividad fotosintética en las áreas de todas las categorías de dehesa, independientemente de la proporción del estrato arbóreo o del pastizal.

La disminución en la Ts conforme incrementa la densidad o el vigor de la vegetación se debe al enfriamiento que en la vegetación provoca la evapotranspiración y a la menor superficie de suelo desnudo en las zonas con abundante arbolado o matorral. De acuerdo con la interpretación del espacio formado por las variables NDVI-Ts sugerida por Jiang e Islam (2001), los puntos correspondientes a zonas de suelo desnudo se localizarían en el extremo superior izquierdo, lugares donde domina el pastizal en el compuesto de verano. En cambio, en el diagrama NDVI-Ts de primavera, cuando las áreas de todas las categorías presentan la cobertura máxima de vegetación, existe una mezcla más homogénea de los puntos de diferente color, y los píxeles rojos, correspondientes a las categorías con porcentajes superiores al 90% de pastizal, aparecen distribuidos a lo largo de la nube de puntos.

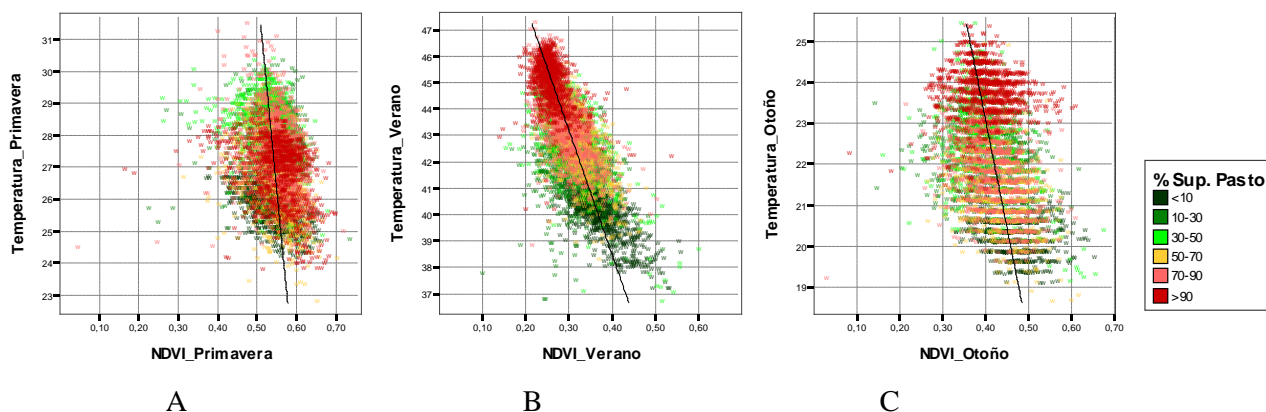


Figura 5. Diagramas de dispersión de NDVI y Ts. En color se muestra el porcentaje de ocupación del pastizal en cada píxel.

La distribución de la Ts en los ecosistemas de dehesa depende de las variaciones fenológicas del estrato herbáceo y de su importancia en términos de ocupación. En este sentido, durante el verano, cuando la senescencia del estrato herbáceo es muy acusada, se observan las diferencias más importantes entre las zonas en las que las herbáceas son dominantes, con mayor Ts, y las zonas en las que la fracción leñosa es más alta, en donde se recoge la menor Ts. Este patrón espacial no se repite durante la primavera debido a la escasa presencia de suelo desnudo y, sobre todo, a la transpiración de las herbáceas cuando se sitúan fisiológicamente en su máximo productivo.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra que las imágenes de Landsat-5 TM pueden ser una fuente de información muy útil en el análisis de la variabilidad espacio-temporal de la temperatura de superficie en los ecosistemas de dehesa. A partir de la serie de imágenes adquiridas a lo largo del período 2009-2011 se han analizado los patrones espacio-temporales de la Ts y su relación con las categorías de dehesa establecidas de acuerdo con la proporción del pastizal (estrato herbáceo) en la cubierta. Los resultados muestran que existe una relación entre la proporción de pastizal y la temperatura de la superficie, más pronunciada en verano y otoño cuando el promedio de las diferencias entre las categorías extremas (<10% y >90%) alcanzan 5°C y ~3.5°C, respectivamente, debido al estado senescente de las herbáceas y a la menor importancia de las sombras proyectadas por el estrato arbóreo. No existen importantes diferencias en la Ts entre los tipos de dehesa en primavera cuando el pastizal está en el estado de máximo vigor. Por otra parte, la diferente composición del arbolado modifica la distribución espacial de la Ts, de tal modo que las áreas de dehesa ocupadas mayoritariamente por *Q. faginea* presentan valores de Ts más bajos que cuando la especie principal es *Q. ilex*.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto FLUXPEC (CGL2012-34383) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Los autores también agradecen la financiación de la investigación predoctoral de Lidia Vlassova por parte de SENESCYT-Ecuador.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L. (2009): "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors". *Remote sensing of environment*, 113, 893-903.
- Jiang, L., Islam, S. (2001): "Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data". *Water Resources Research*, 37(2), 329-340.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Cristobal, J., Soria, G., Niyerola, M., Pons, X., Hidalgo, V., Franch, B., Romaguera, M., Oltra-Carrió, R., Julien, Y., Mattar, C. (2010): "Obtención de la temperatura de la superficie terrestre a partir de la serie histórica de LANDSAT". *Revista de Teledetección*, 33, 53-63.

- Miquelajauregui, Y. (2013): "Modelos de simulación de la dinámica del carbono". En J.A. Blanco (Ed.). Aplicaciones de modelos ecológicos a la gestión de recursos naturales. Barcelona, OmniaScience.
- Olea, L., López-Bellido, R.J., Poblaciones, M.J. (2005): "Europe types of silvopastoral systems in the Mediterranean area: dehesa". En Mosquera, M.R., Rigueiro, A., McAdam, J. (eds) Silvopastoralism and Sustainable Land Management. CABI Publishing.
- Pulido, F., Picardo, A. (coords.) (2010): Libro verde de la dehesa. Documento para el debate hacia una Estrategia Ibérica de gestión. Disponible en <http://www.pfcyl.es/documento/libro-verde-de-la-dehesa>
- Quattrochi, D.A., Luvall, J.C. (2000): Thermal remote sensing in land surface processes. CRC Press.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Shell, J.A., Deering, D.W., Harlan, J.C. (1974): Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFCT Type III final report, Greenbelt, MD. USA.
- San Miguel, A. (1994): La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión. Madrid, Fundación Conde del Valle de Salazar, 96 pp.
- San Miguel, A. (Coord.) (2009): Los pastos de la comunidad de Madrid. Tipología, cartografía y evaluación. Madrid, Comunidad de Madrid.
- Sobrino, J.A., Raissouni, N. (2000): "Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco". International Journal of Remote Sensing, 21, 353-366.
- Wolfe, R., Masek, J., Saleous, N., Hall, F. (2004): "LEDAPS: mapping North American disturbance from the Landsat record". En: Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, September 19-26, 2004, Anchorage, Alaska, EUA.