

Sancha Navarro, E.F. (2010): El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.095-1.108. ISBN: 978-84-472-1294-1

EL ESTUDIO DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN COMO BASE PARA CONOCER LAS RELACIONES ENTRE LA VEGETACIÓN Y EL CLIMA

Emilio Francisco Sancha Navarro

Geógrafo. Miembro del Colegio de Geógrafos Col. Nº 1339

RESUMEN

Los índices de vegetación son un instrumento fruto de la teledetección para conocer la situación de diferentes elementos vegetales que se sitúan sobre la superficie terrestre. Se trata de una herramienta joven, pero cada vez más desarrollada y estudiada. En este trabajo me he propuesto tratar de relacionar los resultados que nos ofrecen los índices de vegetación en España de los últimos cinco años con los resultados climáticos reales, que nos aportan los observatorios situados en varias áreas de dicha zona de estudio, a fin de conocer la fiabilidad de dichos índices en cuestiones climáticas a partir del estado de la vegetación y no sólo meramente ecológicas. De establecerse una correcta correlación, sería de una importancia vital estos índices para estudios tan importantes en la actualidad dentro del campo de la Geografía Física y, sobre todo, de la Climatología y de la Biogeografía, como son la intervariabilidad climática y, especialmente, el cambio climático.

Palabras clave: NDVI, vegetación, deshidratación, fotosíntesis, deforestación.

ABSTRACT

The vegetation indexes are a result of remote sensing instrument to determine the status of different plant elements that are located above ground. This tool is young, but increasingly developed and studied. In this paper I plan to try to relate the results we offer the vegetation indexes in Spain for the past five years with the real climate results, we provide the observatories in several areas of the study area, in order to know the reliability of these indices on climate issues from the state of vegetation and not merely ecological. Establish a correct correlation, would be of vital importance to study these rates as important today in the field of physical geography and, above all, of the Climatology and Biogeography, such as climate intervariability and especially the climate change.

Keywords: NDVI, vegetation, dehydration, photosynthesis, deforestation.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El estudio de la vegetación por parte de la teledetección es una de las aplicaciones más importantes de esta área de la Geografía. Gracias a los datos que recibimos de los sensores -plataformas básicas de un sistema de teledetección que recibe la radiación electromagnética-, podemos llegar a conocer no sólo el grado de salubridad de una cubierta vegetal, sino características más complejas como la actuación de los diferentes pigmentos de la hoja, su estructura y forma, y el grado de humedad o de estrés hídrico que posee dicha planta.

Como cualquier objeto, la vegetación emite una **reflectividad**, que recoge un sensor, siendo ésta diferente según sus características y situación. Las bandas donde mayoritariamente se producen reflectividades en porcentajes significativos y que nos sirven de estudio son en un rango de longitud de onda (λ) de **0,4 a 2,8 μm** , correspondiendo éstas, dentro del espectro electromagnético, a las bandas del **visible y del infrarrojo**.

Dentro del visible –de 0,4 a 0,7 μm de λ –, llamado así porque es la única radiación electromagnética que puede detectar nuestros ojos, distinguimos tres bandas elementales como pueden ser el **azul** (de 0,4 a 0,5 μm), el **verde** (de 0,5 a 0,6 μm) y el **rojo** (de 0,6 a 0,7 μm), mientras que para el infrarrojo, nos quedamos con el **infrarrojo cercano** o **próximo** (de 0,7 a 1,3 μm) y una estrecha franja de longitud de onda del **infrarrojo medio** (de 1,3 a 2,8 μm de λ).

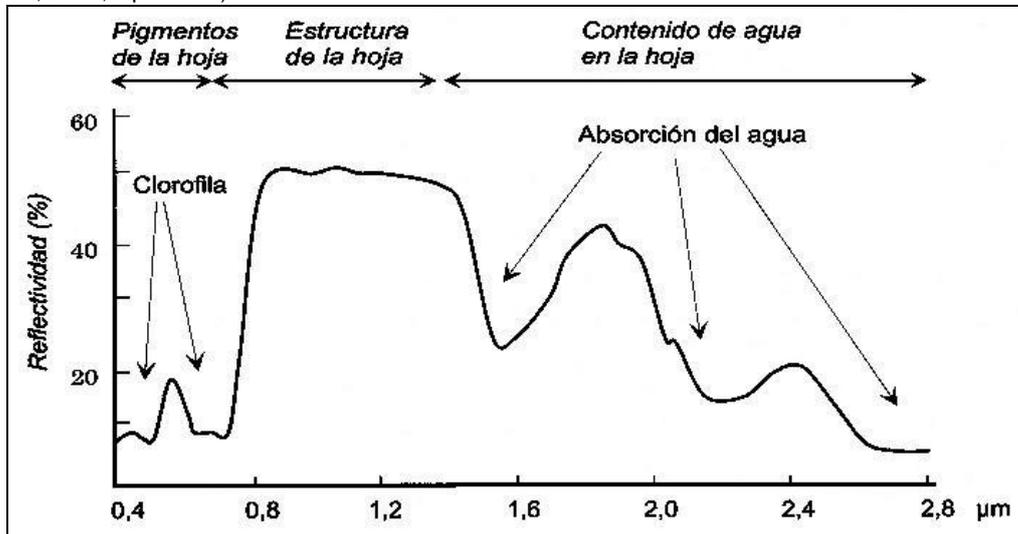


Fig. 1. Comportamiento de la de la reflectividad de la vegetación sana en el espectro óptico.

Fuente: Chuvieco, 1996.

Sin embargo, dicho estudio no es fácil: se debe tener en cuenta factores como la propia reflectividad de la hoja, que varía según su forma, contenido y humedad, su altura –dependiendo de si se trata de arbustos o árboles, cobertura vegetal...-, y la litología, la edafología y la topografía.

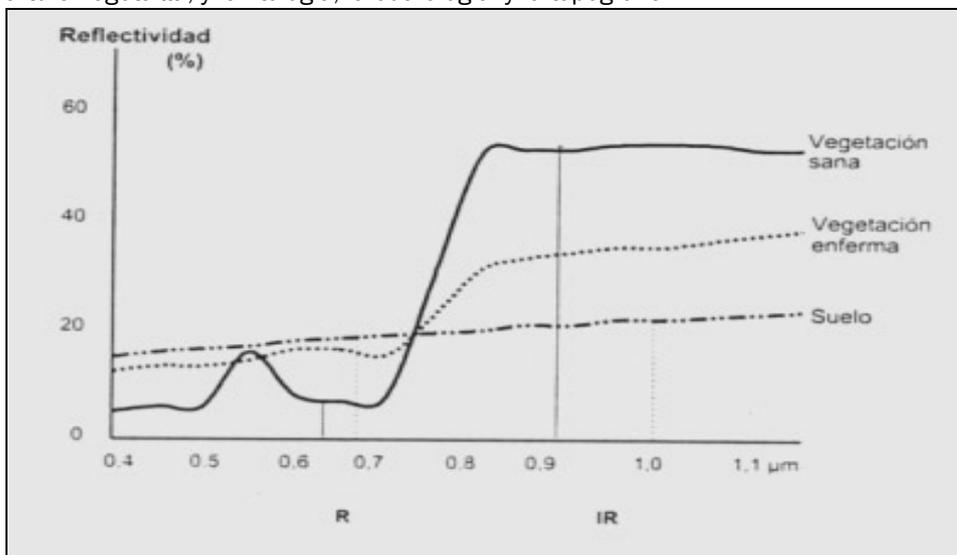


Fig. 2. Signaturas espectrales de la vegetación sana, enferma y el suelo en el espectro óptico.

Fuente: Chuvieco, 1996

Estos factores hacen muy complejo el estudio del comportamiento espectral en el espectro óptico. Pero independientemente de ello, nos vamos a basar en las franjas longitudes de onda dentro del espectro electromagnético ya mencionadas: desde la banda elemental azul del espectro visible (0,4 μm de λ) hasta el infrarrojo medio (2,8 μm de λ). Nos basamos en los estudios científicos de diversos autores sobre vegetación sana, primordialmente Gates et al. 1965 –uno de los pioneros-; Knipling, 1970; Short, 1982; o Lusch, 1989.

Si observamos la figura 1, la reflectividad que recibe el sensor en cada banda lleva consigo una información sobre las características fisiológicas de la planta: en el visible tenemos datos sobre la pigmentación de la hoja

(**clorofila**, principalmente, y también xantofila y caroteno), en el infrarrojo cercano sobre la estructura interna de la hoja (véase figura 3), y el infrarrojo medio sobre el contenido de agua en la hoja.

Pues bien, la vegetación sana y vigorosa (véanse las figuras 1 y 2) emite una baja reflectividad en el visible. Como hemos indicado, he aquí donde se indican las características de los pigmentos, por lo que en caso de realizar plenamente la fotosíntesis, la reflectividad será mayor en la banda del verde (casi un 20 %, alrededor de 0,55 μm); en cambio, en otoño para las caducifolias, en especial las frondosas, la clorofila ejerce una menor influencia, aumentando la reflectividad en ese caso para el rojo en detrimento del verde. En el infrarrojo cercano, la alta reflectividad explica la estructura interna del mesófilo de la hoja, ya que las cavidades existentes, especialmente en el **mesófilo esponjoso** (véase figura 3), dispersan la mayor parte de la radiación (Harris, 1987: 17-20). Y para finalizar, el infrarrojo medio, que nos indica la absorción de agua, de tal forma que, con menor cantidad de agua, mayor reflectividad, por lo que las plantas deshidratadas o enfermas tienen altos valores porcentuales en esta banda. La excepción en este caso la marcan las plantas xerófilas o fagáceas adaptadas a la sequía, que poseen hojas coriáceas, lo que implica una **cutícula** mayor como reservorio de agua (véase la figura 3), que provocaría una ralentización en el estrés hídrico y, por tanto, en la alta reflectividad en el infrarrojo medio.

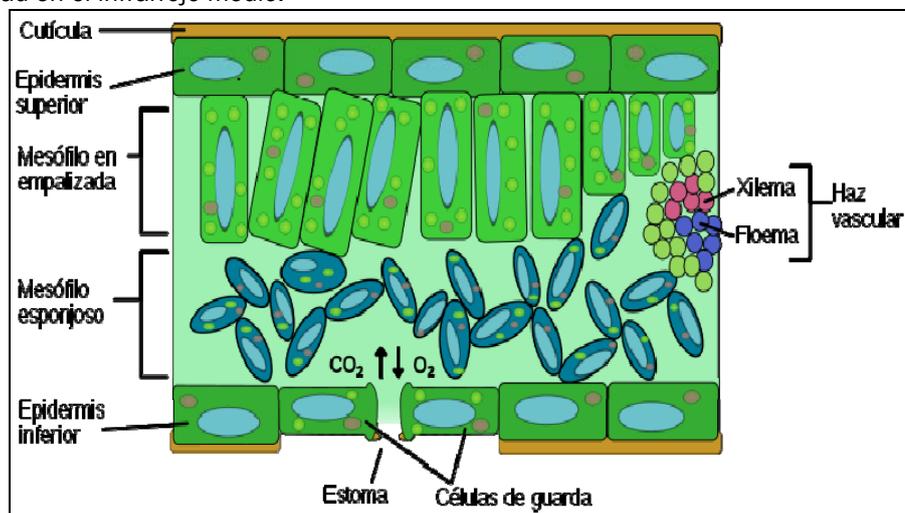


Fig. 3. Diagrama del corte transversal de una hoja. Fuente: leaf-anatomy.es

Sin embargo, en la vegetación enferma, deshidratada o las áreas donde la vegetación no sea abundante, su reflectividad llega a ser anodina, ya que aumenta ligeramente del rojo al infrarrojo medio, no alcanzándose valores de 40 % de reflectividad en el cercano, algo que sí ocurre en la vegetación saludable (véase la figura 2).

Se puede concluir, por tanto, que a mayor diferencia mostrada de la vegetación entre el rojo y el infrarrojo queda de manifiesto una mayor salubridad de ella, mientras que la vegetación estresada y enferma tienen valores de reflectividad relativamente medios y poco variables entre el rojo y el infrarrojo, algo más elevado en éste último que en el anterior.

Para llevar a cabo un buen estudio sobre el estadio de la vegetación se debe llevar a cabo operaciones que contemplen tanto los valores del visible como los del infrarrojo. Para ello, se utilizan los índices o cocientes, que conllevan una división por píxeles de los ND que posee -los **ND (Nivel Digital)** o Digital Number (Lillesand y Kiefer, 1994), es el valor numérico referido a la radiancia que recoge el sensor para un píxel referido a un objeto (en nuestro caso la vegetación) y en una banda espectral concreta (visible o infrarrojo en nuestro trabajo)..

Así, poseemos el **cociente de vegetación**, entre las bandas roja e infrarroja:

$Coci = \frac{\rho_i, IRC}{\rho_i, R}$, donde ρ indica las reflectividades para un píxel i

Ó el Índice de vegetación de diferencia normalizada.

$NDVI = \frac{\rho_i, IRC - \rho_i, R}{\rho_i, IRC + \rho_i, R}$

Entre los índices de vegetación, el más común es el índice de vegetación normalizado, que es un índice usado para estimar la cantidad y el grado de desarrollo de una zona vegetal referido a un territorio concreto.

Desde que se viene desarrollando la teledetección se han utilizado diversas técnicas para estudiar cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por satélites (Verdin, J. et al., 2003). Los primeros sensores para estimar la situación de la vegetación se usaron en Estados Unidos mediante el llamado Satélite de Tecnología de Recursos Terrestres, elaborado por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA). Pero estos instrumentos no tenían el grado de sofisticación de los actuales –se destinaban más bien al estudio de la superficie terrestre, fotointerpretación-; es por ello que adquirirían datos en el rojo e infrarrojo cercano, lo que obligó años posteriores a hacer uso de las marcadas diferencias en la reflexión vegetal para determinar su distribución espacial en las imágenes satelitales. Surgía así, el índice de vegetación de diferencia normalizado, el NDVI. Éste se calcula a partir de estas medidas individuales de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{(IRCercano - ROJO)}{(IRCercano + ROJO)}$$

de donde las variables ROJO y IRCercano están definidas por las medidas de reflexión espectral adquiridas en las regiones del rojo e infrarrojo cercano, respectivamente. Estas reflexiones espectrales son en sí cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual; por tanto, éstos toman valores entre un rango de 0,0 a 1,0. El índice diferencial de vegetación normalizado, NDVI, varía como consecuencia entre -1,0 y +1,0.

Hay que indicar que para valores de 0,1 la vegetación con dicho índice se considera en estado crítico, mientras que para 0,5 se considera densa y sana (Holben, 1986).

En España, el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino posee desde el año 1993 el NDVI, que permite detectar diferentes anomalías en la evolución de los cultivos de secano y los pastizales, prestando especial atención a la detección y localización de situaciones de sequía a lo largo de las sucesivas campañas agrícolas, con objeto de prever las medidas que sean necesarias tomar para paliar sus efectos. Debido a que España es fundamentalmente mediterránea, se llevan mayoritariamente a cabo estudios con ellos sobre el estado de los cultivos de secano y pastizales (www.mapa.es, 2010). Asimismo, la Agencia Estatal de Meteorología posee un índice de vegetación a escala peninsular dentro de los llamados “productos derivados” de las imágenes satélites.

OBJETIVOS

Si tenemos en cuenta, como hemos mencionado en la introducción, que los índices sirven para conocer el grado de estrés hídrico que posee la planta, existe la posibilidad de que los índices reflejen situaciones climáticas.

Hay que señalar que los índices de vegetación tienen múltiples **aplicaciones** y **parámetros** científicos con los que se les relaciona: el **índice de área foliar**, LAI; el contenido de agua en la hoja; el **flujo neto de CO2** (Hall et al., 1991); **radiación fotosintética** activa absorbida por la planta; la **productividad** neta de la vegetación; la **dinámica fenológica** (Sampson, 1993); el contenido de clorofila en la hoja; y la cantidad de lluvia recibida.

Pues bien, el objeto de mi comunicación es comprobar si a partir de dichos índices (me voy a basar en el mencionado índice de vegetación de diferencia normalizada) podemos establecer e identificar diferentes periodos climáticos, ya sean de sequía o con superávit de humedad (balance hídrico), o con temporadas más frías o cálidas. Para ello, me voy a basar en un periodo de **5 años** –de **2005 a 2009**, ambos inclusive- en el que obtengo imágenes referidas a dichos años, escogiendo **3 meses** por cada año (**enero, marzo y junio**). Serán por tanto, 15 imágenes en total.

El área de estudio es la España peninsular y Baleares, estudiando más a detalle 5 áreas concretas y puntuales que sean significativas desde un punto de vista biogeográfico (**Valle del Guadalquivir, Valle del Ebro, Meseta Central, Zona levantina y Zona montañosa norte**). El hecho de llevarnos a la elección de cinco observatorios referentes a ciudades responde a la necesidad de encontrar datos sin lagunas y de fácil difusión, ya que de lo contrario, me vería obligado a la interpolación de lagunas, un trabajo innecesario para este estudio. Hay que indicar que al referirnos a 5 observatorios, los datos climáticos son referidos a un lugar

Sevilla	10,9	81	14,2	324	14,1	63	13,2	135	23,9	15	20,1	102
Zaragoza	6,2 (*)	23 (*)	9,5 (*)	110	10,2	23	9,1 (*)	44	21,1	31	16,9	102
Valencia	11,5	32	14,3	57	13,4	34	13	64	21,7	23	18,4	96
Madrid	5,7 (*)	45 (*)	7,3 (*)	206	9,7	37	7,9 (*)	81 (*)	20,2	20	16,2	134
Burgos	2,4 (*)	56 (*)	5,7 (*)	157 (*)	5,8 (*)	45 (*)	4,9 (*)	96 (*)	15	42	11,3	172

Comportamiento de los índices de vegetación



Como hemos indicado en el punto introductorio, los índices se corresponden de valores de -1 a 1, siendo los calores más propicios entre 0,1 y 0,6. La gama de color expresada aquí muestra la leyenda de los índices que vamos a tratar. Con valores superiores a 0,4 se considera la vegetación sana y con plenas facultades de fotosíntesis cuanto mayor sea el valor, mientras que por debajo de 0,3 se considera enferma o en situación de deshidratación. Nótese que las situaciones de manchas oscuras son “ruidos” debido a situaciones atmosféricas concretas (nubosidad, por ejemplo), nieve o interferencias producidas por el relieve (escarpes desnudos).

Análisis de los índices

Pasamos, por tanto, a analizar las imágenes de índice de vegetación que nos aporta el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino:

Año 2005

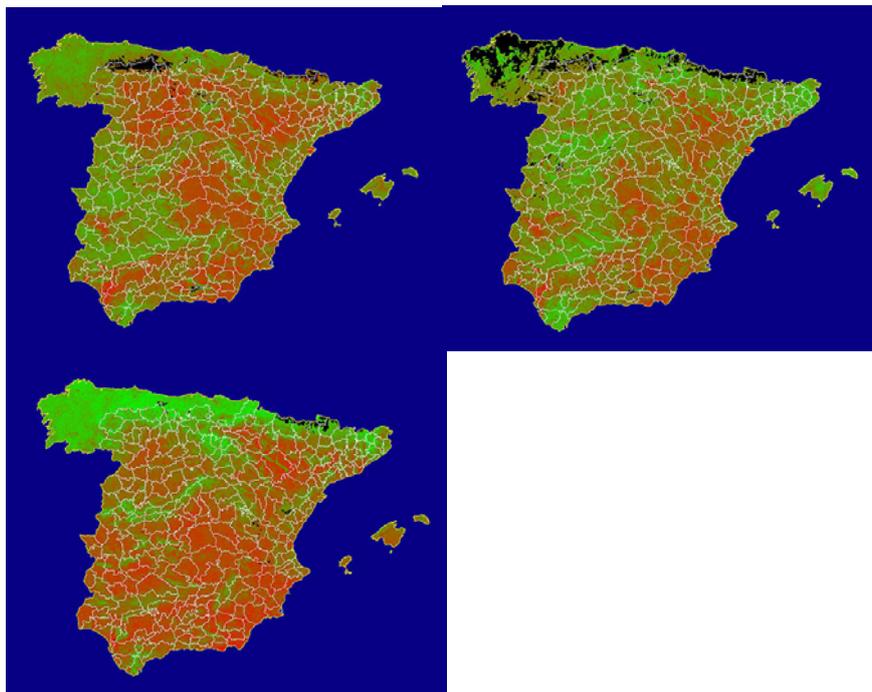


Fig. 4. Salidas cartográficas del NDVI referido a la España peninsular y Baleares en el año 2005 (de izquierda a derecha, meses de enero, marzo y junio). Fuente: www.mapa.es

Los resultados nos dejan observar una amplia zona con valores de índice por debajo de 0,4: ambas Castillas, (0,1 -0,2) valles de grandes ríos como puede ser el del Guadalquivir (al norte de Sevilla, índices de 0,4), Guadiana o Ebro. Si tenemos en cuenta que enero, principalmente las zonas más atlánticas poseen un índice moderado, para este año nos llama la atención el déficit existente en el valle del Guadalquivir, zona en la que en una época de máximos pluviométricos, los valores de índice de vegetación deberían ser más altos (alrededor de 0,5). Por tanto, sugerimos que este mapa nos indica un **otoño pobre en precipitaciones**. El norte

de España, Galicia y la orla cantábrica aparecen con índices positivos, pero nos llama la atención la Cordillera Cantábrica, donde se observa un índice con valores realmente pobres (0,3), pero hay que considerar que en el área de Burgos la amplia nubosidad de estas fechas, el frío constante y la nieve hacen menguar la capacidad fotosintética de la vegetación, lo que redundaría en unos bajos índices debido a la época del año y por el albedo resultante de la nieve. Pero ello, no nos indica como en el resto de España unos valores significativos de posible sequía, ya que con lluvias o si n ellas, pero con frío, se obtienen valores de NDVI similares.

En el caso del mes de marzo, obtenemos valores medios (0,4-0,5) en Sevilla y Madrid, lo que indicaría una posible mejora de precipitaciones en estos tres meses en esa parte atlántica, mientras que en Burgos, Zaragoza y Valencia siguen con valores bajos aún. Destaca con mayor desarrollo de floresta el occidente, al norte de Sevilla, con posible actividad fotosintética incipiente.

El mes de julio es, sin embargo, sumamente disimétrico, dándose una importante diferencia entre el norte y el sur de la Cordillera Cantábrica (valores por debajo de 0,2). Solamente destaca el área de Burgos con índice de 0,6, aún así, son llamativos los bajos niveles de índice para casi toda España, lo que nos transmite en principio que este año fue **bajo en precipitaciones**. Los datos para Valencia y Zaragoza son similares entre marzo y junio, por lo que apenas hubo desarrollo de la floresta en estas fechas, pasándose rápidamente a la deshidratación (Zaragoza, valores de 0,1 fuera de la margen del Ebro). Esto, además, podría venir agudizado por unas temperaturas medias de julio más altas de lo normal, debido al estrés mostrado por la vegetación.

Año 2006

El año 2006 comenzó con un ligero aumento del índice con respecto a 2005 en la mitad occidental de la Península (Sevilla con 0,4), pero con valores bastante bajos en la zona oriental (muy similares a enero de 2005): Madrid 0,3; Valencia, 0,3, y Zaragoza, 0,1-0,2. Estos últimos valores dejan entrever un otoño seco en estos lugares y relativamente húmedo para el caso de Sevilla y de Madrid. Los posibles valores resultantes de albedo en zonas montañosas son similares a los de 2005, pudiendo indicar nevadas relativamente abundantes.

Los valores de marzo son por encima de 0,4 para Sevilla, pero siguen siendo bajos para la mitad oriental, principalmente Zaragoza (0,1), lo que nos indicaría un otoño-invierno bajo en precipitaciones para esta zona de la Península. Los datos reflejados por albedo indican posibles nevadas abundantes hasta principios de este mes en la zona montañosa norte (Burgos), aunque esta ciudad no refleja en sus alrededores unos índices superiores a los de 2005, incluso algo más bajos.

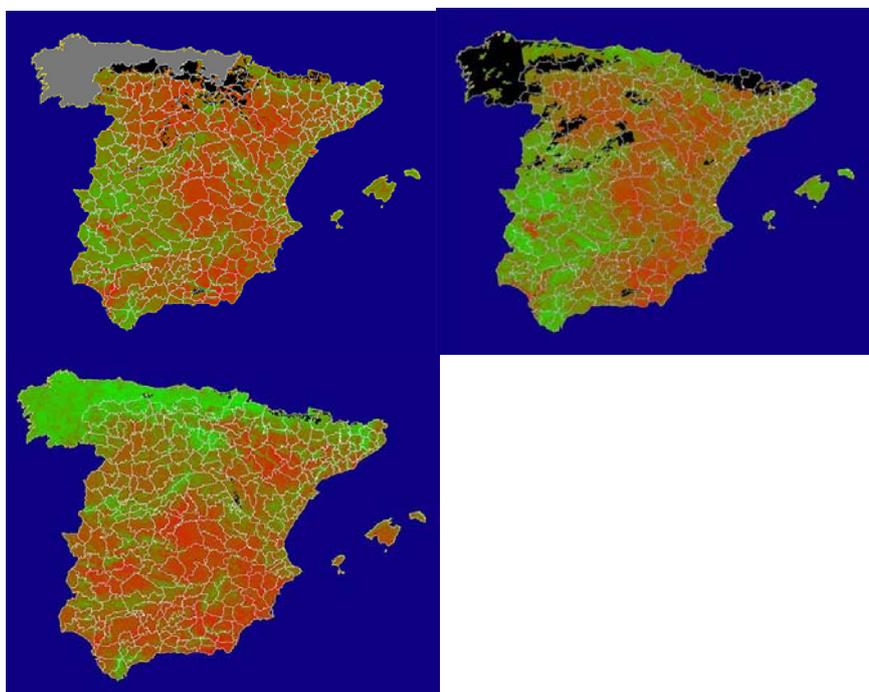


Fig. 5. Salidas cartográficas del NDVI referido a la España peninsular y Baleares en el año 2006 (de izquierda a derecha, meses de enero, marzo y junio). Fuente: www.mapa.es

Y en cuanto a julio, los valores son similares a los de 2005, aunque disminuye la disimetría entre la España seca y la húmeda. Nos indicaría un verano precedido por una primavera ligeramente más húmeda que la de 2005 (Valle del Guadalquivir, con índice en Sevilla de 0,4), pero no lo suficiente aún. Burgos sí destaca claramente con respecto al año anterior con desarrollo fotosintético en los alrededores de La Demanda (0,6).

Año 2007

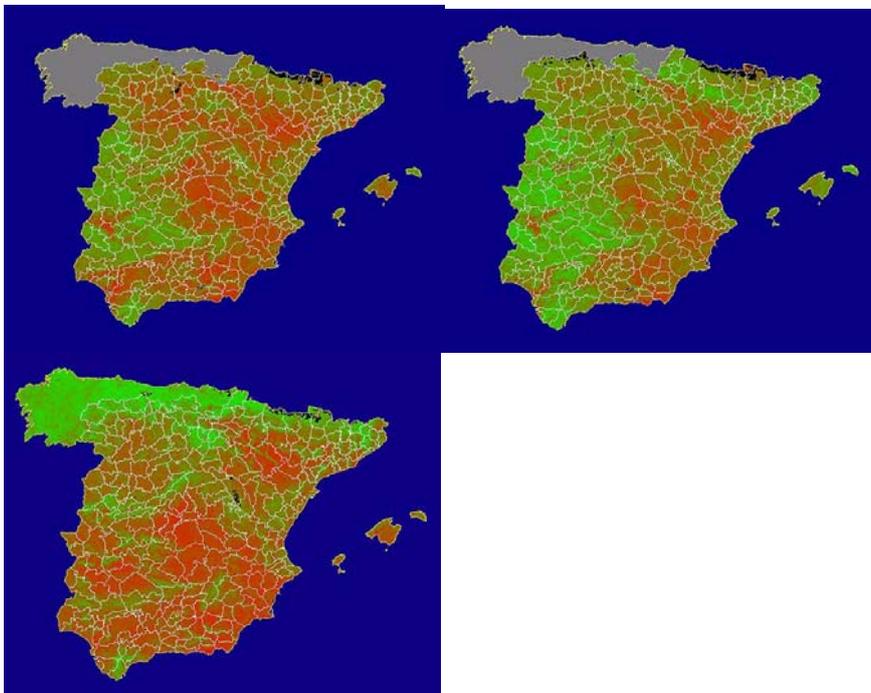


Fig. 6. Salidas cartográficas del NDVI referido a la España peninsular y Baleares en el año 2007 (de izquierda a derecha, meses de enero, marzo y junio). Fuente: www.mapa.es

En general, los valores se corresponden con la media que nos ofrecen los índices de vegetación para los meses de enero, marzo y junio.

En enero, se minimizan las diferencias entre la mitad occidental y la oriental, por lo que se sugiere un otoño-invierno bueno en precipitaciones. Sevilla, Valencia y Burgos poseen valores de índice de 0,3 – 0,4, mientras que Madrid y Zaragoza apenas llegan a 0,2.

El mes de marzo llama la atención por sus altos valores en la mitad occidental, lo que corrobora unos meses lluviosos con borrascas procedentes del Atlántico (Sevilla 0,6 y Madrid 0,5). Valencia y Zaragoza, mejoran con respecto a años anteriores, pero no lo suficiente (0,4 y 0,3 respectivamente).

Los valores referentes a junio nos indican unos valores de índice relativamente mejores en casi toda España, lo que nos indicaría una primavera del año 2007 con relativa abundancia de precipitaciones y no excesivamente calurosa.

Año 2008

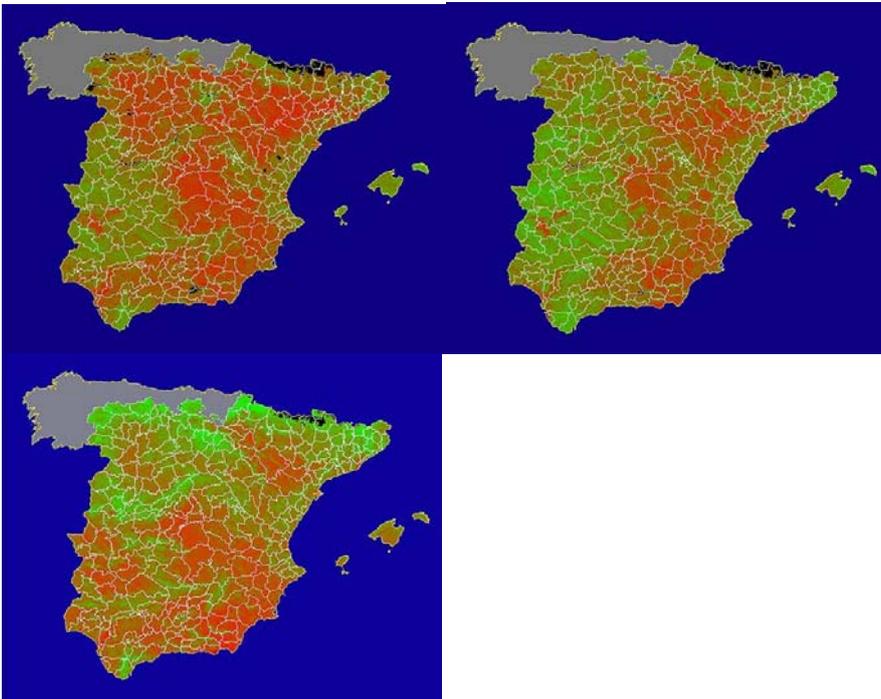


Fig. 7. Salidas cartográficas del NDVI referido a la España peninsular y Baleares en el año 2008 (de izquierda a derecha, meses de enero, marzo y junio). Fuente: www.mapa.es

El mes de enero de este año vuelve a dar valores de índice de vegetación similares a 2005 y 2006, lo que nos indica que el otoño ha sido seco, aunque no con las diferencias tan marcadas entre la zona occidental y la oriental, esto podría deberse a la existencia de lluvias por advecciones de levante en el Mediterráneo en detrimento de la zona occidental con situación atmosférica anticiclónica (valores de índice por debajo de los normal en todos los observatorios implicados).

El mes de marzo da una ligera subida y desarrollo de la vegetación en la zona occidental, por lo que entre estos meses se produciría un incremento de las precipitaciones en todos los observatorios (entre 0,3 y 0,5). Y en junio, destaca el desarrollo de la vegetación en amplias zonas montañosas (en la Ibérica de Burgos por ejemplo), pudiéndose deber a una primavera lluviosa con situaciones de tormentas en dichas zonas, de ahí el índice.

Año 2009

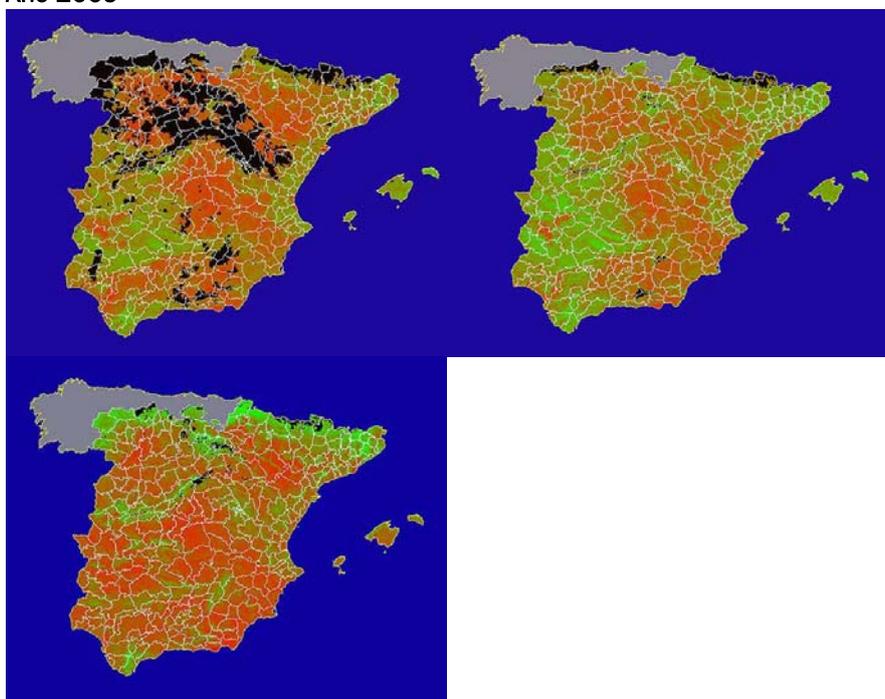


Fig. 8. Salidas cartográficas del NDVI referido a la España peninsular y Baleares en el año 2009 (de izquierda a derecha, meses de enero, marzo y junio). Fuente: www.mapa.es

En los mapas del año 2009 nos llama en primer lugar la atención las amplias zonas de España donde los valores de índice no aparecen debido a la existencia seguramente de zonas con abundantes nevadas. Aunque en las zonas donde existe índice visible, los valores pueden considerarse dentro de la media, por lo que el otoño no fue especialmente lluvioso.

El mes de marzo nos da valores dentro de la media con valores de índice medios de los observatorios implicados (0,2-0,5).

Y el mes de julio, encontramos valores bajos, similares al año 2006, por lo que nos indica una primavera seca e incluso calurosa, muy diferente, por tanto, a la del año 2008, salvo en algunas zonas montañosas del norte peninsular, pero discretamente (destaca Burgos, con 0,6).

Resultados climáticos según AEMET

Los resultados que nos ofrece la Agencia Estatal de Meteorología para los observatorios de cada área seleccionada (**Véanse las tablas del Anexo**) son los siguientes:

Año 2005

Los valores que nos ofrece son más bajo de lo normal, principalmente en precipitaciones. A priori, se trata de una seca generalizada para este año hidrológico. El invierno es frío en casi todas las estaciones estudiadas. Las temperaturas son más bajas en los meses fríos y normales o algo más altas en junio. Los meses de abril a junio son secos y calurosos. Año hidrológico seco en general y con amplios contrastes térmicos entre el verano y el invierno.

Tabla 2. Datos climáticos referidos al año 2004-05. Nótese que los datos en cursiva indican valores por debajo de los normales y las negritas por encima (según Tabla 4).Fuente: Elaboración propia (Aemet)

2005	Enero		Octubre- Enero		Marzo		Febrero-Marzo		Junio		Abril-Junio	
	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	Σ P.(mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	Σ P.(mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	Σ P.(mm)
Sevilla	9,7(*)	0	14,3	122	15,9	43	13,3	70	27,8	0	23,6	40
Zaragoza	4(*)	1(*)	9,1(*)	48	10,5	11	7,8(*)	24(*)	24,2	58	19,1	126
Valencia	8(*)	0	14,5	134	12,3	5	10,5	70	24,5	21	19,3	63
Madrid	3,6(*)	0(*)	9,7 (*)	134	9,8	8	7 (*)	46(*)	25,3	8	19,4	15
Burgos	2,1(*)	28(*)	5,9 (*)	226 (*)	8(*)	17(*)	4,7(*)	27(*)	21,8	28	15,9	125

Año 2006

Aumentan en general las precipitaciones en toda la Península, alcanzando valores normales en todas las áreas. El final de la primavera representa valores pluviométricos más altos en Madrid y zona norte montañosa. Incluso en el Valle del Guadalquivir se registran precipitaciones en estas fechas. Valores térmicos normales en general.

Tabla 3. Datos climáticos referidos al año 2005-06. Nótese que los datos en cursiva indican valores por debajo de los normales y las negritas por encima (según Tabla 4). Fuente: Elaboración propia (Aemet)

Año 2007

Se produce una ligera disminución de precipitaciones, salvo en el valle del Ebro y la zona levantina, donde son

2006	Enero		Octubre-Enero		Marzo		Febrero-Marzo		Junio		Abril-Junio	
	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)
Sevilla	10,6	87	15	218	15,7	61	14,9	101	26,2	23	23,3	86
Zaragoza	5,5(*)	18(*)	9,4 (*)	51	12,5	15	9,7(*)	44	23	40	19,2	75
Valencia	9(*)	70	13,3(*)	139	15,2	6	12,6	42	22,8	8	19,8	41
Madrid	4,4	38	8,6 (*)	140	10,6	8	8(*)	44(*)	23,5	37	18,7	58
Burgos	2,3(*)	21(*)	6,7 (*)	232 (*)	8,4(*)	54(*)	5,8(*)	98(*)	20,5	27	16,1	100

normales. Destaca Sevilla donde se superan los 300 mm de precipitación para el otoño. Valores relativamente altos en todas las áreas en primavera y comienzos del verano. Valores térmicos normales, aunque más altos en la zona montañosa norte (Burgos).

Tabla 4. Datos climáticos referidos al año 2007-08. Nótese que los datos en cursiva indican valores por debajo de los normales y las negritas por encima (según Tabla 4). Fuente: Elaboración propia (Aemet)

2007	Enero		Octubre-Enero		Marzo		Febrero-Marzo		Junio		Abril-Junio	
	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)
Sevilla	11,1	31	15,6	351	15,7	5	15,2	48	24,9	3	21,3	83
Zaragoza	11,3(*)	9(*)	11,7(*)	50	10,6(*)	52	10,4	76	22,2	31	16,6	220
Valencia	10	44(*)	14,3	210	13,1	42	13,3	129	23,5	9	19,9	81
Madrid	5,1	10	8,4	260	9	15	8,8	47	20,1	31	16	163
Burgos	3,7(*)	27(*)	7,8(*)	250(*)	5,6(*)	80(*)	6,1	127	17,5	46	14,4	197

Año 2008

Resalta los altos valores térmicos invernales (ausencia casi absoluta de nevadas en observatorios donde es normal que ocurra) y las escasas precipitaciones. Sin embargo, estos datos parecen invertirse en primavera, ya que los valores de precipitaciones ascienden bastante en la zona levantina y el norte peninsular, pero no en el valle del Guadalquivir.

Tabla 5. Datos climáticos referidos al año 2007-08. Nótese que los datos en cursiva indican valores por debajo de los normales y las negritas por encima (según Tabla 4). Fuente: Elaboración propia (Aemet)

Madrid 2008	Enero		Octubre-Enero		Marzo		Febrero-Marzo		Junio		Abril-Junio	
	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	ΣP (mm)
	7,2	20	8,1	127	10,2	5	9,3	30	21,3	35	16,8	168
Burgos	5(*)	34	6,4	172	7,1	37	8,6	42	17,3	70	15,2	347
Sevilla	12,9	46	16,1	151	15,7	15	15,5	85	26,8	0	21,7	214
Zaragoza	7,4	7	9,6	65	10,8	11	11,1	28	20,9	53	17,5	171
Valencia	11,3	7	13	263	14,4	3	13,2	49	22,1	63	19,2	158

Año 2009

Valores de precipitaciones normales o algo más bajo de lo normal en amplias zonas, salvo en la zona levantina (Valencia, casi todos los meses con superávit). Primavera y principios de verano más secos de lo normal en todos los observatorios dados con temperaturas algo más altas de lo normal, salvo Madrid.

Tabla 6. Datos climáticos referidos al año 2008-09. Nótese que los datos en cursiva indican valores por debajo de los normales y las negritas por encima (según Tabla 4). Fuente: Elaboración propia (Aemet)

2009	Enero		Octubre- Enero	ΣP.(mm)	Marzo		Febrero- Marzo	ΣP.(mm)	Junio		Abril- Junio	ΣP.(mm)
	T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)		T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)		T. (°C)	P. (mm)	T. $\bar{\chi}$ (°C)	
Sevilla	10,7	40	13,6	160	16,3	46	14,5	167	26,1	2	21,8	15
Zaragoza	5,6	29	8,9	166	11,1	7	9	14	23,9	0	18,6	35
Valencia	8,7	46	11,2	326	11,3	87	16,7	99	23	1	18,5	37
Madrid	4,7(*)	25(*)	7,6(*)	201(*)	10,9(*)	8(*)	8,9(*)	47(*)	23,9	14	16,8	168
Burgos	3,2(*)	36(*)	6,3 (*)	213(*)	8,3(*)	23(*)	6,5(*)	41(*)	19,3	36	14,7	120

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Tabla 7. Comparación de resultados finales en base a los obtenidos independientemente por los NDVI analizados y los elaborados a partir de las bases de datos de la AEMET. Nótese que, debido que el periodo de estudio iba de enero a junio, se ha tenido más en cuenta los datos pluviométricos que termométricos para la calificación de los años. Elaboración propia

	2005		2006		2007		2008		2009		% BONDAD
	NDVI	AEMET	NDVI	AEMET	NDVI	AEMET	NDVI	AEMET	NDVI	AEMET	
Sevilla	Bajo	Muy Seco	Normal	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Bajo	Seco	50%($\bar{\chi}$)
Zaragoza	Muy Bajo	Seco	Bajo	Seco	Bajo	Normal	Bajo	Normal	Bajo	Seco	50%($\bar{\chi}$)
Valencia	Bajo	Seco	Bajo	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	100%($\bar{\chi}$)
Madrid	Bajo	Muy seco	Bajo	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Bajo	Normal	70%($\bar{\chi}$)
Burgos	Bajo	Seco	Normal	Normal	Normal	Normal	Alto	Húmedo	Normal	Normal	90%($\bar{\chi}$)

Si unimos ahora los resultados que hemos hecho por separado. comprobamos que, efectivamente, los índices de vegetación reflejan situaciones climáticas con bastante porcentaje de probabilidad (entre el 50 y el 100%). Además, insinúan situaciones especiales: la dura sequía en el año hidrológico 2004-2005, con índices muy bajo de vegetación para toda la Península (casi todas las estaciones estudiadas dieron valores muy por debajo de los normales para ese año hidrológico, según la tabla 4), reflejaba la dramática situación por la deshidratación de la floresta. O la mejoría pluviométrica en el año 2006 con la llegada de borrascas atlánticas, beneficiándose el área de Sevilla en contraposición a la zona de Zaragoza y a la levantina, que tuvieron que esperar a situaciones de levante (años 2007 y 2008) con gotas frías y tormentas de primavera y verano. Y por último, las situaciones de nevadas que, a veces, se han venido reflejando en las zonas montañosas del norte peninsular con el albedo producido por la nieve y el hielo.

Pero, los resultados no deben tomarse como absolutamente vinculantes (llama la atención los resultados de Sevilla, Madrid y Zaragoza, que son los que ofrecen porcentajes de bondad más bajos), ya que las salidas cartográficas que hemos comentado seguramente no sólo se han producido por las situaciones climáticas

que hemos representado; hay una amalgama de factores que han dado lugar a esos valores de índices, como ya se habló en el punto introductorio y en los objetivos. Por ejemplo, en el área de Zaragoza, la vegetación situada en los alrededores del Ebro con una misma situación climática puede a escala muy de detalle dar unos valores de índice de vegetación diferentes: He aquí la **razones edafológica y litológica**: los suelos arcillosos y con alto grado de humus supone que, aun no produciéndose precipitaciones, la vegetación posee mayor aporte de humedad interior, mientras que en las áreas circundantes de cerros testigos (a veces sobre suelos silíceos, muy pobres) la vegetación tiene menores aportes por poseer el suelo menor **capacidad de carga**. Incluso también factores climáticos más complejos que se nos escapan dentro de un estudio básico climático juegan un papel influyente en los resultados: la **evapotranspiración real** puede acelerar el ritmo de deshidratación de un área vegetal en sitios con situaciones atmosféricas similares (la ETR de Sevilla es mucho más elevada que la de Madrid, por lo que el estrés de la vegetación será más tardío en ésta última). Además de todo ello, el porcentaje de cobertura vegetal nos puede incluso hacer dudar de la representatividad de los índices: nos referimos a los casos de Zaragoza e incluso Madrid, donde existen amplias zonas secas, baldías de vegetación, lo que interfiere en el NDVI. Para ello, desde utilizarse el **índice de vegetación ajustado al suelo** (Huete, 1987), donde incorporar la variante de reflectividad del suelo (SAVI), lo que daría mayor representatividad a las áreas con grandes discontinuidades en la vegetación.

Por lo tanto, debido a que la expresión de los índices son el reflejo de numerosos factores que interrelacionan entre ellos, no nos podemos atrever a señalar que los resultados son vinculantes, sino que debemos indicar que las relaciones de éstos con los datos climáticos aportados son representativos sólo en parte, es decir, no son vinculantes totalmente.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y a lo comentado en la discusión, y aun tomando en consideración que para tener unos resultados plenamente representativos y vinculantes se deben tener en cuenta todos los factores que conforman el balance hídrico (evapotranspiración, percolación, capacidad de carga, etc...), así como los litológicos y topográficos, los índices de vegetación son, en efecto, instrumentos de valiosa información para cuestiones no sólo de Ecología (Biogeografía), sino de Climatología, por lo que dentro de la teledetección deben desarrollarse aún más estos índices debido a que pueden en un futuro ser una muy buena forma de estudiar el cambio climático sobre las diferentes regiones ecológicas del planeta. En el caso de nuestro país serían unas herramientas complementarias dentro de la Climatología, ya que España es un país muy marcado por situaciones extremas (sea dicho ya de paso, aun no siendo objeto de dicha comunicación, los resultados de la tablas climáticas indican valores más altos de temperaturas para todos los observatorios que los registrados en la media de los últimos 30 años), además de ser dentro del continente europeo el más afectado tanto por la desertización como por la desertificación.

FUENTES CONSULTADAS

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA.

AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE.

CHUVIECO SALINERO, E. (1990) *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp

CHUVIECO SALINERO, E. (1996) *Fundamentos de Teledetección Espacial (3ª Edición revisada)*. Madrid: Ediciones Rialp.

CHUVIECO SALINERO, E. (2002) *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Madrid: Ariel.

GATES, D.M. (1980) *Biophysical Ecology*. New York: Springer-Verlag.

HALL, F.G., BOTKIN, D.B., STREBEL, D.E., WOODS, K.D. y GOETZ, S.J. (1991): *Large Scale patterns of forest successions as determined by remote sensing*, *Ecology*, vol. 72, 628-640.

HALL HARRIS, R. (1987): *Satellite Remote Sensing. An introduction*, Routledge and Kegan, Paul, London, 17-20.

HOLBEN, B.N. (1986): *Characteristics of maximum-value composite images form temporal AVHRR data*, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, 1417-1434.

HUETE, A.R. (1987): *Spectral Signatures and Vegetation Indices*, en II Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección, Valencia, 13-26.

KNIPLING, E.B. (1970): *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation*, 155-159.

LILLESAND, T.M. y KIEFER, R.W. (1994): *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley and Sons (3rd Ed.). New York.

LUSCH, D. P. (1989): Fundamental Considerations for teaching the spectral reflectance characteristics of vegetation, soil and water, en *Current Trends in REMOTE Sensing Education* (M.D. Neills, R. Lougeay y K. Lulla, Eds.), Geocarto International Centre, Hong Kong, 5-12.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO.

PEDREROS, D., AGUILAR, G. L. y SENAY, G. (2004) Reporte década sobre balance hídrico para el maíz, segunda década, septiembre 2004, *Sistema Guatemala Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria*, Boletín No. 14, Guatemala.

SAMPSON, S.A. (1993): Two indices to characterize temporal patterns in the spectral response to vegetation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol, 59, 511-517.

SELLERS, P. J. (1985) Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration, *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.

SHORT, N.M. (1982): *The Landsat Tutorial Workbook: Basics of satellite Remote Sensing*, NASA Scientific and Technical Information Branch, Washington, D.C.

VERDIN, J., PEDREROS, D. y EILLERTS, G. (2003) Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), *FEWS - Red de Alerta Temprana Contra la Inseguridad Alimentaria, Centroamérica*, USGS/EROS Data Center, 2003.

Páginas webs:

www.aemet.es

www.mapa.es

www.marm.es

www.tutiempo.net