

Una serie multitemporal de 87 NDVI-MVC sobre Castilla y León

Julia YAGÜE BALLESTER

1. VALOR DE LAS SERIES MULTITEMPORALES DEL NDVI

Uno de los aspectos que más interesa al geógrafo es la detección, seguimiento y valoración de cambios del terreno a diversas escalas. En este sentido, las técnicas de teledetección y proceso de imagen son capaces de integrar grandes volúmenes de datos capturados por los satélites de observación de la tierra sobre amplias extensiones territoriales; de modo más concreto, las imágenes NOAA-AVHRR han demostrado ser una fuente de datos válida para el análisis geográfico regional. Las series multitemporales de imágenes *brutas (raw)* se revalorizan al convertirlas en series de información temática, bien por clasificación o bien por la obtención de variables continuas como en el caso del índice de vegetación normalizado –NDVI– (Rouse, 1974).

Todos los IV tratan los niveles digitales (ND) de las respuestas espectrales de manera que la contribución de la vegetación en la señal radiométrica registrada siempre queda realizada. En otras palabras, los IV explotan las diferencias espectrales entre el infrarrojo y el rojo. De hecho, los primeros análisis de contraste eran meras relaciones entre las radiancias de las bandas del IRC y R (Jordan, 1969; Pearson, 1972). Gilabert (1991) remarca la conveniencia de utilizar los valores de reflectividad y no los de la radiancia o ND. Si se emplean los ND de la imagen, como en el caso del presente estudio, el valor físico de los resultados no es un parámetro absoluto, sino relativo, pero no por ello menos valioso. En cualquier caso, cuanto mayor sea el valor de IV obtenido, mayor vigor vegetal tendrá el área observada.

El trabajo de Rouse establece el NDVI o diferencia normalizada entre la reflectividad de las bandas IRC y R según la expresión:

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

El NDVI se ha utilizado profusamente a pesar de las deficiencias técnicas imputables al propio sensor, como son: la absorción del vapor de agua, la dispersión Rayleigh, las condiciones de observación, el ángulo de iluminación solar, etc. Por el contrario entre los aspectos más positivos del NDVI hay que destacar el control de los valores del índice entre unos márgenes estandarizados, lo que facilita considerablemente la interpretación de resultados, así como la posibilidad de estimación y correlación con otros parámetros de la cubierta vegetal. El NDVI no es el único análisis posible de la respuesta espectral de la vegetación. Las revisiones analíticas de otros índices de vegetación de Hielkema (1978) y Tucker (1979) siguen teniendo un gran valor teórico y práctico; también pueden encontrarse análisis actualizados sobre este tema en las revisiones críticas de Perry y Lautenschlager (1984), Guyot y Baret (1990) y Leprieur (1996) así como en los informes técnicos a la Comisión Europea elaborados por los proyectos de investigación y desarrollo suscritos con el Centro para la Observación de la Tierra (CEO) de la Dirección General XII, por varios grupos Europeos de investigación, dentro del programa de Medio Ambiente y Clima (Proyecto *MARS*¹, Proyecto *MEGAFiReS*², Proyecto *CONTROL-FIRE-SAT*)³.

Todas las variantes de índices de vegetación tienen aspectos positivos y deficiencias en cuanto al grado de discriminación de la biomasa. Leprieur remarca la sensibilidad de todos los IV en su tarea detectora de la vegetación, a pesar de las diferencias propias del diseño de cada algoritmo. Al mismo tiempo, resalta el valor que tienen las largas series de datos NOAA-AVHRR, puesto que la repetitividad del dato atenúa los valores extremos de observación así como las distorsiones ocasionadas por una geometría forzada, la fluctuación de aerosoles y el grado de transparencia de la atmósfera, la carencia de una refinada corrección atmosférica, etc. La incertidumbre sobre la composición atmosférica debe llevarnos a una obligada prudencia en la interpre-

¹ MARS: Monitoring Agriculture through Remote Sensing. EC DG VI. Joint Research Centre. Space Applications Institute. Agricultural Information Systems Unit. Ispra, Varese, Italia.

² MEGAFiReS: Remote sensing of large wild fires in the European Mediterranean basin, at European and local levels. Contrato n.º: ENV4-CT96-0256 DG12.DTEE. Coordinador: Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. Geografía. (España)

³ CONTROL-FIRE-SAT. Proyecto Design of a framework for producing and providing Earth Observation based information services for forest fire management at European and Local levels.. Contrato n.º: ENV4 CT 97 – 0479. Coordinador: Infocarto, S.A. (España).

tación de la biomasa detectada. Todas estas pautas señaladas por Leprieur para el NDVI derivado del sensor AVHRR se han tenido en cuenta y verificado en nuestra serie de IV.

La bondad del NDVI para estimar distintos parámetros de las cubiertas se ha verificado en aplicaciones tan diversas como: cambio global (Asrar, 1990), avance de la desertificación (Lammini, 1995), seguimiento de cultivos (Programa *MARS*, 1994), inventarios agrícolas (Richardson, 1977), estimación de rendimientos (Delgado, 1997), control de deforestación (Malingreau, 1991), previsión, seguimiento y evaluación de incendios forestales (Burgan, 1995) y un largo etcétera.

2. COMPOSICIÓN DEL VALOR MÁXIMO DEL NDVI (MVC)

La gestión y análisis de largas series del NDVI obliga a recurrir a las composiciones periódicas del valor máximo. Gandía (1991) señala como *los estudios multitemporales se basan en la superposición espacial de todas las imágenes consideradas en el estudio y en la clasificación, haciendo uso de cuanta información se dispone, es decir, utilizando como bandas conjuntamente las de todas las fechas* (p. 318).

El MVC del NDVI (Holben, 1986, Cihlar, 1996), es una imagen resultante de un periodo discreto de observaciones (10,12,15, 16 días), en la que cada píxel toma el valor máximo del NDVI alcanzado durante ese periodo. Esta selección determina el momento de mayor verdor dentro del periodo y, por lo tanto, la menor distorsión o contaminación por nubes u otros factores atmosféricos. Se ha apuntado la conveniencia de utilizar periodos de 11 días para el MVC derivado de NOAA-AVHRR, ya que la programación orbital cumple un ciclo completo cada 11 días; en cualquier caso, la praxis es muy variada, realizándose compuestos semanales, decenales, quincenales o mensuales. En nuestra serie hemos optado por estos últimos. El análisis de una sola imagen NOAA-AVHRR no resulta representativo pues, aunque se corrijan las alteraciones atmosféricas y geométricas, persisten otros factores que alteran el registro de los ND, como son: diferencias en la posición del sol, el ángulo cenital solar, fluctuaciones en la transparencia de la atmósfera, variación de los parámetros orbitales del satélite, etc; cualquiera de estas variables causa, día a día, diferencias en los ND registrados por el sensor sobre un mismo punto de la superficie. Así, por ejemplo, la apertura angular de las observaciones del AVHRR en posición de nadir es de 55°, lo que produce un ángulo de mira respecto a la superficie de la tierra de 68°. Las observaciones desviadas del nadir originan al menos tres problemas en el cálculo e interpretación del NDVI por las que el valor queda reducido (Goward., 1991; Stoms., 1997):

Variaciones en la resolución espacial

El tamaño del píxel NOAA-AVHRR centrado en el nadir de la observación tiene una resolución espacial de 1.1 Km. de lado, mientras que los píxeles en los extremos alcanzan fácilmente 2.4 por 6.5 Km. Al efectuar las correcciones geométricas de la imagen, los valores de los píxeles distorsionados se solapan, causando distorsiones. Según Goward, observaciones con ángulos de elevación menores de 25° deben desestimarse.

Mayor filtro atmosférico

Actuando sobre la reflectividad de las superficies, por el aumento de la trayectoria angular. Todas las imágenes de satélite están sujetas al filtrado que la atmósfera ejerce sobre la radiancia. En las imágenes desplazadas del nadir este efecto se ve incrementado por el aumento de trayectoria que la energía reflejada debe atravesar. En el caso del sensor AVHRR, la dispersión causada por aerosoles resulta más manifiesta en el canal rojo (canal 1) que en el infrarrojo (canal 2), y es máxima en las imágenes de la tarde orientadas hacia el Este.

Variaciones en la reflectividad bidireccional

La mayoría de las cubiertas terrestres tienen características de reflectividad bidireccional estableciendo diferencias entre los valores de reflectividad registrados por el sensor y los valores al nivel de la superficie.

La influencia que pueden tener estos factores sobre la calidad de una serie multitemporal y sobre la clasificación final mantiene una línea de investigación abierta (Cilhar, 1994). Stoms considera la posibilidad de un algoritmo de composición del MVC que incluya el ángulo cenital de cada observación como un elemento ponderado en el cálculo. La reducción del valor final del MVC es conocida y, mientras se depuran metodologías, no se puede perder conciencia de las distorsiones que introducen los factores mencionados, se debe de controlar la cadena de grabación y georreferenciación de las imágenes para no incluir imágenes con un ángulo de observación excesivamente bajo, de manera que los elementos de distorsión sean una constante sistemática. En el caso de la serie multitemporal que presentamos, las imágenes de los MVC mensuales nunca han tenido ángulos de observación inferiores a 20°.

Puede plantearse otra objeción respecto al uso sistemático del MVC: puesto que las observaciones desviadas del nadir incurren, en principio, en

mayores distorsiones y en la disminución final del NDVI, parece más apropiado desestimar las imágenes desviadas del punto de nadir. Esta apreciación parece lógica y prudente para un cálculo acertado y para asegurar la calidad del dato en su origen; sin embargo, Stoms demuestra resultados muy satisfactorios de las series multitemporales de NDVI compiladas en MVC, a pesar de que la geometría de algunas observaciones diarias no sea óptima. La razón de citar a Stoms no es otra que la de avalar el procedimiento seguido en nuestro estudio para la elaboración de los MVC mensuales de la serie NDVI87m; ciertamente, algunas de las imágenes presentaban ángulos de observación bajos, con una geometría distorsionada de la Península Ibérica; a pesar de todo, esas imágenes no se desestimaron para la elaboración del MVC siempre y cuando, al aplicar la corrección geométrica, el error cuadrático medio fuera menor de 0.5, aplicando un polinomio de corrección de segundo grado. Así, podemos decir que este ha sido el criterio de control de calidad de la geometría de las imágenes tomadas para la serie. Naturalmente, otro de los criterios de selección de las imágenes ha sido el horario: todas las imágenes se corresponden con observaciones diurnas de los NOAA-AVHRR sobre la Península. Esta premisa queda impuesta al trabajar con la respuesta espectral visible e infrarroja de la vegetación.

Otro aspecto que añade valor a las series multitemporales del MVC es la diversidad de aplicaciones que puede darse a una misma serie. Aportamos dos ejemplos de aplicación múltiple de una misma serie. El Servicio Geológico de los EEUU mantiene en el Centro de Datos EROS el registro permanente del NDVI mediante el sensor AVHRR; Stoms nombra varias líneas de explotación sistemática de esos datos, como son: caracterización de cubiertas del terreno y cartografía (Loveland, 1991; Kremer y Running, 1993; Paruelo y Lauenroth, 1995), seguimiento de cultivos (Wade, 1994), control de incendios (Kasischke, 1993), evaluación de biodiversidad (Walker, 1992) y variaciones fenológicas interanuales de las especies (Reed, 1994). La segunda gran serie de NDVI-MVC que queremos mencionar es la construida por el proyecto *MARS* de la UE. En la actualidad hacen uso de esa serie de datos estamentos de la UE como DGVI (agricultura), Eurostat (oficina de estadística), CEO (*Centre for Earth Observation*) para necesidades internas de gestión de la Comisión y en el marco de proyectos de investigación y desarrollo.

Este tipo de series de datos requieren una fuerte gestión técnica, pero al mismo tiempo tienen un valor geográfico innegable; los que aprecian la teledetección como sola técnica deben entender que, en concreto, las series multitemporales consiguen un análisis espacial y temporal continuo. Gracias a la organización interna de las series, el factor tiempo puede dejar de ser el elemento discontinuo o secundario en los análisis territoriales.

3. SERIE MULTITEMPORAL NDVI87M

A partir de la valoración genérica de las series multitemporales de NDVI-MVC procedimos a construir una serie sobre la Comunidad de Castilla y León, en la que pudiéramos controlar todos los parámetros del proceso, desde la captura de la imagen hasta la precisión de la georreferenciación y ajuste de los compuestos del valor máximo. Se eligió el **área** de Castilla y León por la extensión y contraste entre sus grandes unidades fisiográficas y las características de las cubiertas del terreno asociadas; las dimensiones de esas unidades tienen una relación de proporcionalidad espacial muy adecuada para la resolución espacial del sensor AVHRR de NOAA (1.1 Km). En otras palabras, un territorio con una variedad de cubiertas del terreno excesivamente fragmentada no es un territorio idóneo para ser observado mediante NOAA. **El periodo** de observaciones de la serie que presentamos en este trabajo abarca desde enero de 1990 hasta marzo de 1997, es decir, 87 meses de seguimiento sobre el área de interés. Por esta razón la denominamos NDVI87m. **El número** de imágenes procesadas asciende a 1200, de las que resultaron efectivas 1012 imágenes (84%); el resto de las tomas se desestimó por interferencias (*ruidos*) en el registro de la imagen, o por una geometría de los píxeles del área de interés muy distorsionada, al encontrarse en los extremos del IFOV de la imagen. Un **acuerdo de colaboración** suscrito entre el Dpto. de AGR y Geografía Física de la UCM y la empresa Infocarto, S.A. ha permitido el acceso a un número tan elevado de imágenes de satélite. 227 imágenes proceden de los fondos del Centro de Observación Espacial en Baviera (DLR-DFD), adquiridas en el marco del contrato de investigación 93AVI0126 suscrito con la Comisión Europea⁴. El resto de las imágenes fueron capturadas directamente mediante la antena de recepción propiedad de la empresa lo que nos permitió controlar de antemano algunos parámetros de las tomas: hora de pasada, inclinación del ángulo de observación, etc. Otras características técnicas y estructurales de la serie son:

- Total de compuestos: 87 NDVI-MVC mensuales
- Estructura: 1 imagen multi-banda de 87 bandas; B1, enero 1990... B87, marzo 1997.
- Parámetros de georreferenciación: Proyección UTM, Esferoide internacional 1909, Huso 30, Datum Europeo, RMS < 1.
- Número de imágenes

⁴ Comisión Europea. (1993). DG XII, Ciencia Investigación y Desarrollo, DG I, Relaciones Internacionales. Programa AVICENA. Contrato 93AVI0126, *Development of a methodology based on NOAA satellites observations for the control of fresh water resources and their evolution*. Dirección científica: Infocarto, S.A.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N.º de NDVI-MVC	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7
N.º de imágenes en total MVC	84	90	73	72	80	85	96	82	91	80	94	85

- Tiempo medio de proceso de datos por imagen: 40 minutos. Total: 475 horas.
- Volumen medio de datos procesado por imagen: 128 Mb. Total: 129.5 Gb.
- Volumen de la imagen final NDVI87m: 18 Mb.

La construcción, almacenamiento y análisis de la serie NDVI87m ha exigido el recurso a otras fuentes de información geográfica digital. Como resultado se ha articulado un sistema de información geográfica que integra los siguientes elementos, tanto raster como vectorial:

- Serie de 1012 imágenes NOAA-AVHRR de la península Ibérica (canales 1 y 2),
- Serie de 1012 imágenes con el valor del índice de vegetación normalizado NDVI,
- Serie de 87 compuestos mensuales del NDVI sobre la península Ibérica,
- Serie de 87 compuestos mensuales del NDVI sobre la Comunidad de Castilla y León,
- Imagen multicanal NDVI87m sobre Castilla y León,
- Imagen Landsat TM 201-31, Aranda de Duero, de 23.09.92. Ortorectificada,
- Mosaico Landsat TM sobre Castilla y León. 3 canales. Ortorectificada,
- Modelo digital del terreno sobre Castilla y León (200 y 80 m),
- Base CORINE de ocupación y usos de suelo de Castilla y León,
- Base digital de las comarcas agrarias de Castilla y León,
- Base cartográfica digital de límites administrativos: peninsular, provincial y municipal,
- Base cartográfica digital de núcleos urbanos de Castilla y León,
- Base cartográfica digital de ríos de Castilla y León,
- Base digital de 60 estaciones termopluviométricas del INM en Castilla y León.

La articulación de todo este fondo documental nos lleva a las siguientes valoraciones: (i) la serie multitemporal demuestra la viabilidad de proceso y

utilización directa de los datos remotos, por voluminosos e ingentes que estos puedan parecer (130 Gb), como entrada de datos permanentemente actualizada en un SIG para análisis territorial; (ii) el nivel de proceso, compactación y simplificación de datos es tal que llega a hacer muy manejable una valiosa, aunque inicialmente compleja información; (iii) el control de la georreferenciación de cada imagen es el elemento más importante de la secuencia de construcción de la serie; (iv) la serie multitemporal hace posible mediar y tipificar los ritmos biológicos mensuales de las cubiertas por medio de clasificaciones dinámicas; (v) la tipificación mensual permite comparaciones puntuales del vigor vegetativo de las cubiertas. (vi) la estructura mensual de la serie encubre ritmos biológicos cuya percepción requiere una estructura quincenal o decenal de los compuestos del valor máximo del NDVI.

Más allá de los objetivos de este trabajo, la serie NDVI87m ha permitido (i) valorar cuantitativamente la intensidad de los ciclos biológicos anuales de las cubiertas, así como los subciclos encubiertos; (ii) se ha verificado la utilidad de NOAA para clasificaciones dinámicas; (iii) la estructura temporal de la serie ha demostrado cómo la precisión de la clasificación espacial aumenta con el número de compuestos que entran a formar parte de la clasificación confirmando que la repetición del dato sustituye, en cierta medida, la supervisión de la clasificación; (iv) por último, se ha comparado el ajuste de la clasificación de cubiertas de toda la serie NDVI87m a la cartografía CORINE de Castilla y León.

4. PERFILES TEMPO-ESPECTRALES DEL NDVI EN CASTILLA Y LEÓN

La estructura acumulativa de la serie NDVI87m se aprecia inmediatamente en los perfiles tempo-espectrales que hemos realizado (figuras 1, 2 y 3); así mismo permite la consulta inmediata de la respuesta espectral en el tiempo para unas coordenadas x , y determinadas. En nuestro trabajo hemos trazado 60 perfiles tomando como puntos de muestreo otras tantas estaciones termopluviométricas completas de la Comunidad (tabla 1). Teniendo en cuenta la resolución espacial de NOAA y los desplazamientos que pudieran darse en el ajuste de la georreferenciación de las imágenes y compuestos, el valor del NDVI para un punto x , y es el valor medio de los nueve píxeles adyacentes al de referencia; en otras palabras, el radio de consulta ha sido de 1,5 Km.

Tabla 1
Relación de estaciones termopluiométricas completas consideradas en el estudio

	<i>Código</i>	<i>Nombre Estación</i>	<i>Provincia</i>	<i>Altitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
1	2450	Cillan	Ávila	1212	404220N	045842W
2	2514E	Palacios de Goda	Ávila	820	410705N	044712W
3	3330	El Tiemblo	Ávila	580	402440N	042627W
4	3417	Candeleda El Rincón	Ávila	340	400625N	051107W
5	1077P	Villasana de Mena	Burgos	312	430555N	031702W
6	2114	Hontoria de Valdearados —	Burgos	870	414550N	033017W
7	2269U	Melgar de Fernamental	Burgos	806	422540N	041437W
8	2284	Humada	Burgos	959	424010N	040507W
9	2319	Pantano de Arlanzón	Burgos	1140	421650N	032022W
10	2345	Albillos	Burgos	831	421635N	034727W
11	2347	Coculina	Burgos	985	423445N	035337W
12	2626	Cistierna	León	951	424815N	050737W
13	2664	Valencia de Don Juan	León	763	421740N	053107W
14	2667	Prioro	León	1123	425335N	045737W
15	2679U	Gordoncillo	León	748	420805N	052412W
16	2697	Rabanal de Luna	León	1150	425555N	055817W
17	2717	Carrizo de La Ribera	León	871	423505N	054947W
18	2728	Villameca	León	978	423830N	060427W

Tabla 1 (continuación)
Relación de estaciones termopluviométricas completas consideradas en el estudio

	<i>Código</i>	<i>Nombre Estación</i>	<i>Provincia</i>	<i>Altitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
19	2742	La Bañeza	León	771	421800N	055407W
20	2744	Tabuyo del Monte	León	1020	421752N	061247W
21	2232	Pantano de Requejada	Palencia	1024	425430N	043147W
22	2278	Osorno	Palencia	809	422440N	042147W
23	2293A	Astudillo	Palencia	784	421140N	041737W
24	2369E	Celadilla del Río	Palencia	986	423630N	044747W
25	2370	Saldaña	Palencia	912	423125N	044407W
26	2386	Monzón de Campos	Palencia	754	420700N	042937W
27	2403	Venta de Baños	Palencia	720	415510N	042942W
28	2552	Villar de Gallimazo	Salamanca	841	405845N	051837W
29	2839U	Armenteros	Salamanca	1052	403535N	052657W
30	2847	Pedrosillo de Los Aires	Salamanca	860	404025N	053827W
31	2879E	Tabera de Abajo	Salamanca	821	405700N	060007W
32	2893	Villarmuerto	Salamanca	767	410320N	062147W
33	2901	Salto de Saucelle	Salamanca	116	410240N	064837W
34	2915	El Cubo de Don Sancho	Salamanca	770	405000N	061712W
35	2926A	Bañobarez	Salamanca	743	405100N	063647W
36	2946I	Saelices El Chico	Salamanca	680	403813N	063758W

Tabla 1 (continuación)
Relación de estaciones termopluiométricas completas consideradas en el estudio

	<i>Código</i>	<i>Nombre Estación</i>	<i>Provincia</i>	<i>Altitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
37	3492E	Herguiejuela de La Sierra	Salamanca	648	402640N	060427W
38	2183	Santiuste de Pedraza	Segovia	1104	410520N	035312W
39	2192D	Cuellar, Cega	Segovia	795	412200N	041600W
40	2208	Sanchonuño	Segovia	803	411925N	041817W
41	2465	Segovia 'Observatorio'	Segovia	1005	405700N	040737W
42	2010	Abejar	Soria	1130	414830N	024712W
43	2071	Bayubas de Abajo	Soria	1000	413240N	025542W
44	2087	Abioncillo de Calatañazor	Soria	995	414210N	025202W
45	2096	Liceras	Soria	1020	412245N	031437W
46	2172	Sardón de Duero	Valladolid	720	413700N	042437W
47	2215	Arrabal de Portillo	Valladolid	758	412820N	043547W
48	2409B	Valladolid 'Zamadueñas'	Valladolid	700	414255N	044127W
49	2516	Ataquines	Valladolid	802	411055N	045022W
50	2519	San Vicente del Palacio	Valladolid	746	411305N	045107W
51	2531E	Castroñuño 'Presa San José'	Valladolid	660	412415N	051627W
52	2604	Medina de Rioseco	Valladolid	749	415300N	050237W
53	2579	Castroverde de Campos	Zamora	707	415810N	051857W
54	2588	Tapioles	Zamora	691	415120N	052947W

Tabla 1 (continuación)
Relación de estaciones termopluviométricas completas consideradas en el estudio

	<i>Código</i>	<i>Nombre Estación</i>	<i>Provincia</i>	<i>Altitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
55	2753E	Manganeses de La Polvorosa	Zamora	716	420205N	054447W
56	2775	Villardeciervos	Zamora	864	415630N	061722W
57	2779E	Santa Croya de Tera	Zamora	726	415900N	055827W
58	2787	Granja de Moreruela	Zamora	700	414855N	054647W
59	2802	Salto de Ricobayo	Zamora	702	413135N	055907W
60	2886	Carbellino de Sáyago	Zamora	767	411355N	060852W

El examen de los perfiles tempo-espectrales en las estaciones de referencia confirma de manera cuantitativa tres *patrones tipo* de vigorosidad de las cubiertas locales respecto al vigor conjunto de toda la Comunidad: (i) patrón de ritmos de vigorosidad de las llanuras del oeste, con reactivación vegetativa primaveral hasta tres meses antes que el conjunto de la Comunidad, como por ejemplo las cubiertas del terreno adyacentes a la estación de El Cubo de Don Sancho en Salamanca (Figura 1). (ii) Patrón de vigorosidad de cubiertas en zonas de montaña, con una actividad vegetativa permanentemente superior a la del conjunto de la Comunidad; este es el caso de los aldeaños de la estación de Villasana de Mena en Burgos (Figura 2). (iii) Patrón de vigorosidad característico de la depresión central, con una actividad vegetativa casi siempre inferior a la del conjunto de la Comunidad excepto en los meses de primavera, superando la media en un ciclo temporal muy breve coincidiendo con el periodo de crecimiento y maduración del cereal. Un ejemplo son los resultados del perfil de Zamadueñas, en Valladolid (figura 3).

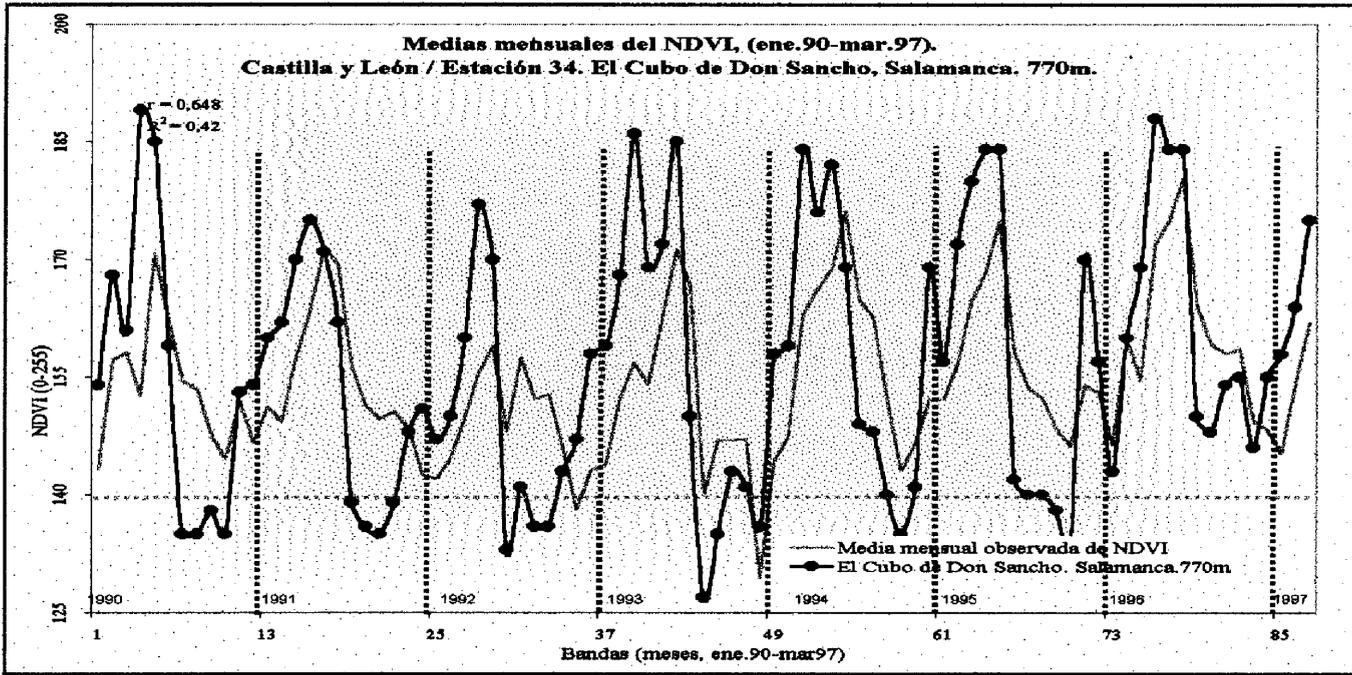


Figura 1.—Perfil tempo-espectral prototipo de las zonas de montaña de Castilla y León.

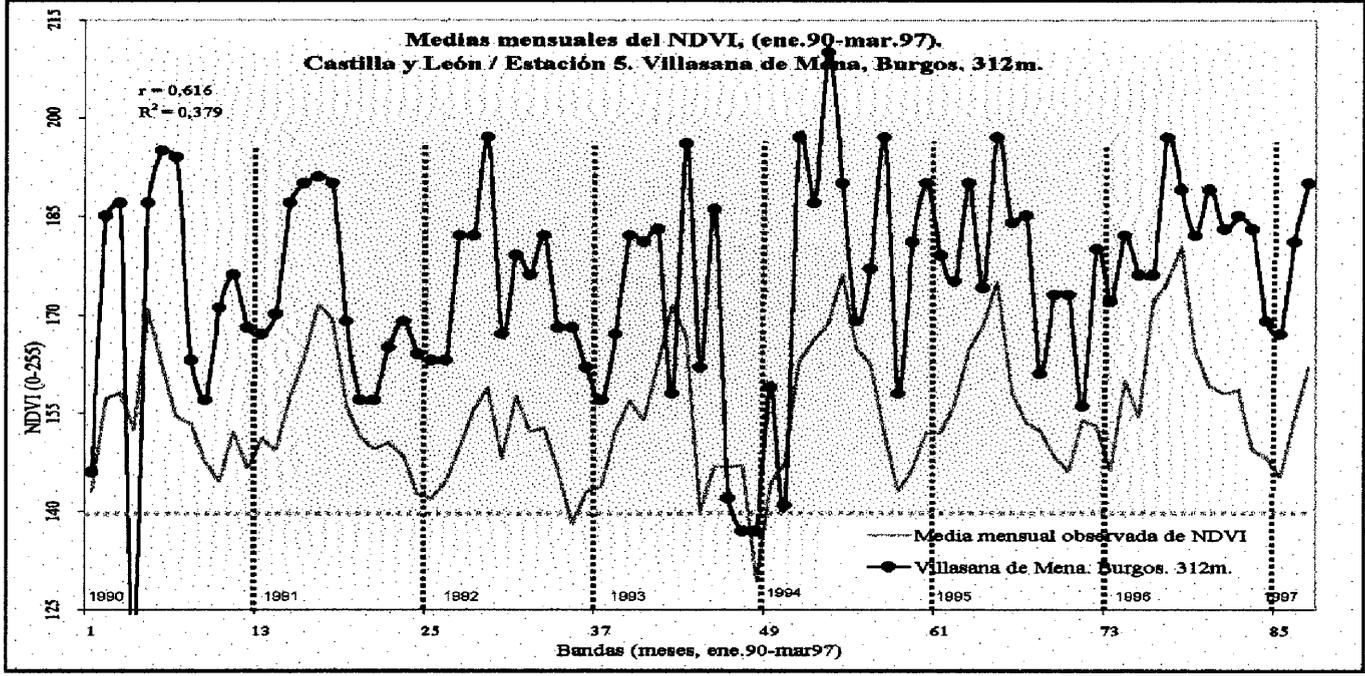


Figura 2.—Perfil tempo-espectral prototipo de las llanuras del oeste de Castilla y León.

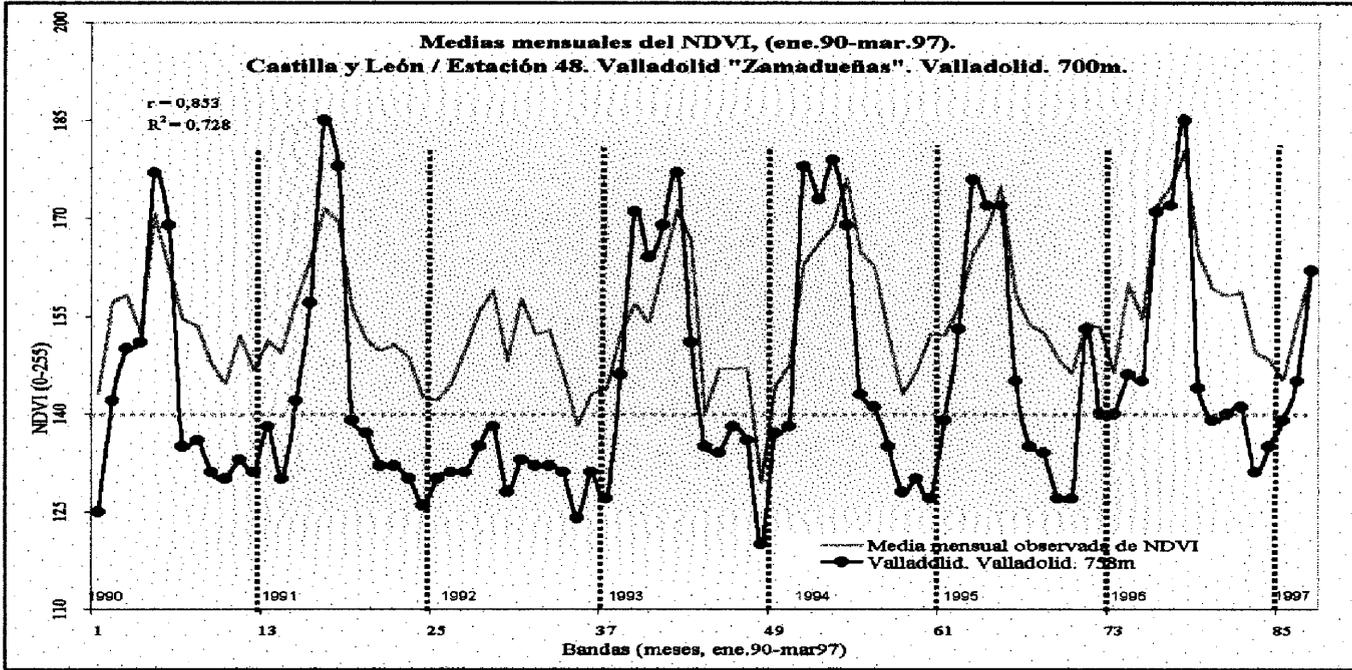


Figura 3.—Perfil tempo-espectral prototipo de las llanuras centrales de Castilla y León.

BIBLIOGRAFÍA

- Asrar, G. (1991): *Mission to Planet Earth: a global change program. Proc. 16th Annual conference of the Remote Sensing Society*. Univ. College, Swansea, pp. i-v.
- Burgan, R. E. (1995): *Use of Remotely sensed data for fire danger estimation. Int. Workshop on Remote Sensing and GIS applications to forest fire management*. (E. Chuvieco, Ed.). Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, pp. 87-97.
- Cihlar, J., Manak, D., D-Iorio, M. (1994): "An evaluation of compositing algorithms for AVHRR data over land". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 8 (6): 893-916.
- Cihlar, J., Xiao, Q. (1996): "Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments". *Remote Sensing of Environment*, 58: 36-51.
- Delgado de la Mata, J. A., Illera Gutiérrez, P., González Alonso, F., Terrab, R. (1997): "Utilización de imágenes NOAA para la estimación de rendimientos de cosechas en Castilla y León". En: *Teledetección, Usos y Aplicaciones* (Casanova, J. L., y Sanz Justo, J., editores). Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Valladolid.
- European Commission DG XIII. Joint Research Centre. Institute for Remote Sensing Applications (1994): *The MARS Project: overview and perspectives*. Proceedings. Villa Carlotta, Belgirate, Lake Maggiore, Italy, 17-18 Nov. 1993. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas. Luxemburgo.
- Gandía, S. (1991): *La teledetección en los inventarios agrarios. En: La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables. Agricultura*. Curso de Postgrado. Coord.: Gandía, S. y Meliá, J. Universitat de València. Estudi General. Unidad de Teledetección. Departament de Termodinámica, pp. 313-324.
- Gilabert, M. A. (1991): "Índices de vegetación". En: *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables. Agricultura*. Curso de Postgrado. Coord.: Gandía, S. y Meliá, J. Universitat de València. Estudi General. Unidad de Teledetección. Departament de Termodinámica, pp 285-295.
- Goward, S. N., Markham, B., Dye, D. G., Dulaney, W., Yang, J. (1991): "Normalised difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer". *Remote sensing of environment*, 35 (2): 257-277.
- Guyot, G., Baret, F. (1990): "Potentials and limits of vegetation indices". Beltsville Symposium XV *Remote Sensing for Agriculture*, May 16-18, 1990, Goddard Space Flight Centre, Greenbelt, Maryland.
- Hielkema, J. V. (1978): *Advanced training and research on satellite remote sensing techniques and applications in the United Kingdom and the United States*; AGLT/RSU Series 2/79, Food and Agr. Org. of the U.N., Rome, Italy.
- Holben, B. N. (1986): "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing*, 7 (11): 1417-1437.
- Jordan, C. F. (1969): "Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor". *Ecology* 50: 663-666.

- Kasischke, E., French, N., Harrell, P., Christensen, N., Ustin, S., Barry, D. (1993): "Monitoring wild fires in boreal forests using large area AVHRR-NDVI composite image data". *Remote Sensing of Environment*, 45 (1): 61-71.
- Kremer, R., Running, S. (1993): "Community type differentiation using NOAA-AVHRR data within a sagebrush-steppe ecosystem". *Remote Sensing of Environment*, 46 (3): 311-318.
- Lammini, A., Casanova Roqué, J. L., Rodríguez Campos, P. (1995): "Estudio de la evolución de diversas áreas en proceso de desertización mediante imágenes NOAA-AVHRR". En: *Agricultura y bosques. VI reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Valladolid, pp. 236-237.
- Leprieur, C., Kerr, Y. H., Pichon, J. M. (1996): "Critical assessment of vegetation indices from AVHRR in a semi-arid environment". *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, n.º 13, 2549-2563.
- Loveland, T., Merchant, J., Ohlen, D., Brown, J. (1991): "Development of a land cover characteristics data base for the conterminous US". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (11): 1453-1463.
- Malingreau, J. P. (1991): *Remote sensing for tropical forest monitoring: an overview. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries* (A. S. Belward, y C. R. Valenzuela, eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 253-278.
- Paruelo, J., Lauenroth, W. (1995): "Regional patterns of NDVI in North American shrublands and grasslands". *Ecology*, 76 (6): 1888-1898.
- Pearson, R. L., Miller, L. D. (1972): "Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie", *Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, University of Michigan, Ann Arbor, Mich., 1357-1381.
- Perry, C. R., Lautenschlager, L. F. (1984): "Functional equivalence of spectral vegetation indices". *Remote Sensing of Environment*, 14: 169-182.
- Reed, B., Brown, J., VanderZee, D., Loveland, T., Merchant, J., Ohlen, D. (1994): "Measuring phenological variability from satellite imagery". *Journal of Vegetation Science*, 5 (5), 703-714.
- Richardson, A. J., Wiegand, C. L.; Torline, R. J.; Gautreaux, M. R. (1977): "Landsat agricultural land use survey", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43 (2), 207-216.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W.; Harlan, J. C. (1974): *Monitoring the vernal advancement of retro-radiation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report*, Greenbelt, MD, pp.371.
- Stoms, D. M., Bueno, M. J., Davis, F. W. (1997): "Viewing geometry of AVHRR image composites derived using multiple criteria". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 63, n.º 6, pp. 681-689.
- Tucker, C. J. (1979): "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation". *Remote Sens. of Environ.*, v. 8, pp. 127-150.
- Wade, G., Mueller, R., Cook, P., Doraiswamy, P. (1994): "AVHRR map products for crop condition assessment: a geographic information systems approach". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60 (9): 1145-1150.

Walker, R., Stoms, D., Estes, J., Cayocca, K. (1992): "Improved modelling of biological diversity with multitemporal vegetation index data". *Technical papers of the 1992 annual meeting of ASPRS/ACSM*, Albuquerque, New Mexico. 3-8 March, pp. 562-571.

RESUMEN

Este trabajo presenta tres aspectos relacionados con la teledetección como fuente de datos para posteriores aplicaciones de análisis territorial. En primer lugar, se revisa el valor de las series multitemporales de observaciones NOAA-AVHRR, del índice de vegetación normalizado (NDVI) y de los compuestos temporales del valor máximo (MVC) del NDVI. A continuación se presenta una serie multitemporal de 87 compuestos mensuales del NDVI sobre Castilla y León (serie NDVI87m); se resumen las características técnicas de la serie y su inclusión en un SIG para análisis geográfico regional. Por último, se plasma la secuencia de análisis tempo-espectral que ofrece la serie a través de tres perfiles que cuantifican y tipifican las oscilaciones anuales del vigor vegetal de las cubiertas en las llanuras del oeste, la depresión central y las montañas de Castilla y León.

Palabras clave: NOAA-AVHRR, NDVI-MVC, series temporales, índice vegetación, Castilla y León.

ABSTRACT

This article presents three issues related to remote sensing data as a source for advanced land analysis applications. First, it reviews the value of NOAA-AVHRR time series, the normalised difference vegetation index (NDVI) and time maximum value composites (MVC). Next, the essay presents an 87 NDVI-MVC time series over Castilla & León (Spain); the technical characteristics of the series are summarised, as an element of a GIS for regional geographic analysis. Lastly, the time and spectral analysis potential enclosed in the NDVI87m series is shown in three profiles which, in turn, typify the land cover yearly vegetation strength waves in the west plains, the central depression and the surrounding mountain ranges of Castilla & León.

Keywords: NOAA-AVHRR. NDVI time series, MVC, vegetation index, Castilla & León.