

Serie Multi-Temporal NDVI87m. Respuesta Espacio-Temporal de las Cubiertas en Castilla y León

*Julia Yagiie Ballester
jyague@eucmos.sim.ucm.es
Dpto. de AGR y Geografía Física.
Universidad Complutense de Madrid*

Resumen-Abstract

Las series multitemporales de observaciones NOAA-AVHRR, y más específicamente las series temporales del índice de vegetación NDVI, han logrado un uso generalizado en las aplicaciones de análisis del terreno. Este trabajo presenta una serie de 1012 imágenes NOAA-AVHRR registradas entre enero de 1990 y marzo de 1997 sobre Castilla y León, de las que se han obtenido 87 compuestos mensuales del valor máximo. Además, se desarrolla un breve análisis espacial y temporal de la respuesta espectral contenida en la serie a lo largo de un transecto de 204 Km. entre la comarca de Almazán y el valle de Mena, atravesando la cordillera ibérica en Soria y Burgos.

Time NOAA-AVHRR data series, and more specifically NDVI time series, are widely used in terrain analysis applications. The current study presents a 1012 NOAA-AVHRR image time series, captured between January 1990 and March 1997 over Castilla & León (Spain). 87 monthly NDVI maximum value composites were derived from the raw image series. The NDVI time series is hereby presented. A brief spatial and temporal analysis of the spectral values contained in the series is carried out over a 204 Km long transect between the Almazán County and the Mena Valley, across the Ibérica range, in the provinces of Soria and Burgos.

1. Introducción

Las características orbitales y técnicas de la mayoría de los satélites, sobre todo las de los de alta resolución espacial, hacen que el registro acumulativo diario de sus datos solo sea posible en el caso de las naves concebidas para usos meteorológicos, ya sean geoestacionarias como METEOSAT o heliosíncronas como NOAA. Las resoluciones temporal y radiométrica son las características más positivas de las imágenes registradas por la serie de satélites NOAA-AVHRR. Las series multitemporales de estas observaciones conjugan los factores *repetitividad temporal* y *discriminación radiométrica* para subsanar, en cierta medida, su limitada resolución espacial. (Kidwell, 1991)ⁱ.

Hemos reconstruido la respuesta espectral de las cubiertas del terreno en Castilla y León entre 1990 y 1997 mediante la recuperación del registro de reflectividades capturado por los sensores AVHRR en una serie multitemporal de imágenes NOAA-AVHRR. Se procesaron 1200 imágenes, de las que 1012 (84,3%) resultaron útiles, para cubrir un periodo de 87 meses de estudio.

¿Qué justifica el valor científico de una serie multitemporal de imágenes de baja resolución espacial, y en concreto de NOAA-AVHRR? El valor de las series multitemporales de imágenes de satélite de alta resolución temporal radica en que la repetitividad del dato espectral otorga una gran precisión a la serie y a las aplicaciones que de ella se puedan hacer, tales como la clasificación o seguimiento de cubiertas, por las siguientes dos razones: (i) porque, para cualquier punto del terreno, la distorsión infringida por valores extremos queda suavizada por la repetición de datos. (ii) porque cualquier valor que se quiera analizar se encuentra en el contexto de una serie de respuestas, con ritmos y fluctuaciones analizables en el todo y en sus partes.

Una referencia comparativa a los datos meteorológicos puede ilustrar más gráficamente el valor de una serie multitemporal de imágenes NOAA-AVHRR, accesible y operativa: el dato de la temperatura media del día de hoy en nuestra ciudad tiene un valor muy relativo y, por si solo, muy efímero; por contraste, la serie de mediciones diarias de la temperatura media durante cincuenta años, encierra información más significativa. Del mismo modo, una sola imagen de satélite tiene muy poco que decir frente a los valores de observación continuados.

Los registros 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 es el caso de los índices de vegetación (IV). Justice (1985)ⁱⁱ, Malingreau (1986)ⁱⁱⁱ y Townshend (1986)^{iv} proporcionan justificaciones ya clásicas del IV NDVI para estudiar la fenología de las cubiertas. Las limitaciones técnicas y la utilidad de los compuestos del valor máximo (NDVI-MVC) los analiza, entre otros, Holben (1986)^v. Por otra parte, las series del NDVI han resultado ser una fuente principal de datos para cartografías globales de cubiertas y procesos dinámicos del terreno (IGBP, 1992)^{vi}. En nuestro estudio sobre la serie multitemporal NDVI87m se revisan varias aplicaciones desarrolladas sobre la base de series multitemporales del NDVI o de la temperatura de superficie, derivados de NOAA-AVHRR, que gozan de reconocimiento internacional

2. Características de la Serie Multitemporal NDVI87m

En el apartado anterior señalamos algunas propiedades de la serie NOAA87m. Este registro se procesó para obtener el NDVI, de manera que la serie multitemporal construida como base del estudio y fuente de resultados pasó a denominarse NDVI87m. Las características técnicas y estructurales de la serie son las siguientes:

- ✓ Temporalidad: enero 1990-marzo 1997. 87 meses de observación.
- ✓ Total imágenes procesadas: 1200; NOAA-AVHRR 10, 12 y 14. Canales 1 y 2.
- ✓ Total imágenes útiles: 1012 (84.3 %)
- ✓ 87 NDVI-MVC mensuales
- ✓ Estructura de la serie: 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/mes

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nº de meses observados en la serie	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Nº de imágenes en media mensual	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.

3. Origen de las imágenes NOAA-AVHRR de la serie NDVI87m

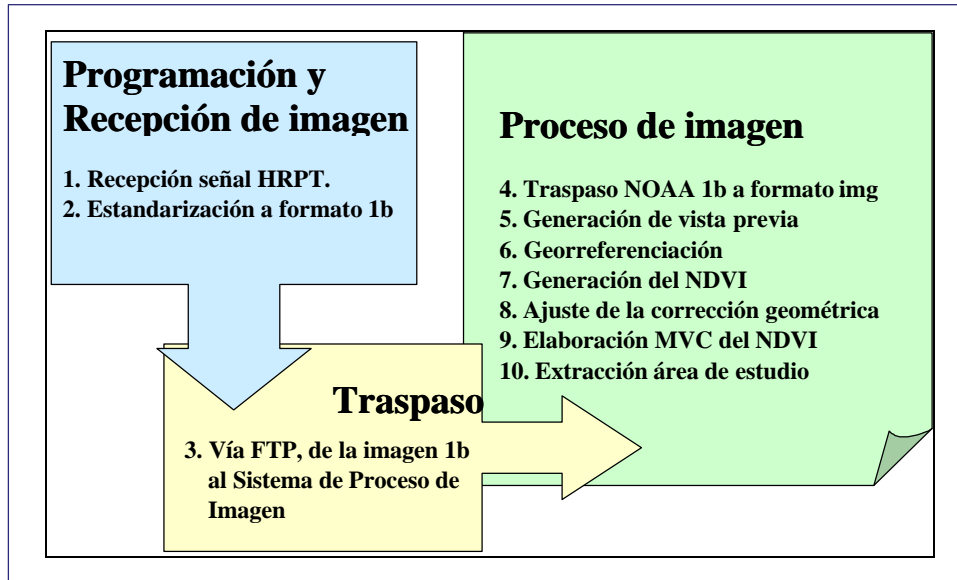
La obtención de las imágenes de este estudio ha sido posible gracias al Proyecto de I & D 93AVIO126, financiado por la DGXII y la DGI de la Comisión Europea, titulado *Development of a methodology based on NOAA satellites observations for the control of fresh water resources and their evolution*, coordinado por Infocarto, S.A. El origen de las imágenes NOAA-AVHRR ha sido doble: la serie comprendida entre el enero de 1990 y diciembre de 1994 proviene de los archivos del centro alemán de observaciones espaciales (DLR-DFD)^{vii}. La segunda mitad de la serie, enero 1995 – marzo 1997, se obtuvo mediante la programación directa de la estación de recepción de Infocarto, S.A.

La búsqueda de imágenes correspondientes al primer periodo fue laboriosa y con numerosos problemas técnicos. Se consultaron archivos de diversas instituciones dedicadas a la observación remota entre los meses de febrero de 1995 y febrero de 1996. En aquel momento, muchas de las instituciones consultadas todavía no tenían los archivos de imágenes informatizados, con visualización rápida de imágenes para su selección. Esto limitó la selección de imágenes; por regla general, los archivos registraban las grabaciones de pasadas NOAA en una fecha determinada, pero no se podía acceder a una vista preliminar de las características de la imagen tales como el cubrimiento de nubes, el encuadre de la zona de interés o el ángulo de visión. En el mejor de los casos, algunas instituciones hacían públicos, y fácilmente consultables, los fondos de sus archivos por medio de grabaciones de vistas rápidas en CD-ROM. En la mayoría de los casos el archivo consistía en un listado sobre papel, con las coordenadas de encuadre de la imagen y complejos códigos de descripción del cubrimiento de nubes, inclinación de la observación, etc. Resulta sorprendente el cambio técnico operado en tan solo un lustro, de manera que en la actualidad, casi la totalidad de los archivos de imágenes de satélite (NOAA y otros) se pueden consultar directamente, en tiempo real, por medio de la Internet. Varios factores han propiciado este cambio: (i) la presión ejercida por usuarios científicos, gubernamentales y privados para acceder a los archivos de imágenes antes de que la rápida evolución de sistemas informáticos se desfasara aún más de aquellos con los que fueron registrados y archivados las imágenes en su origen; (ii) la necesidad de rentabilizar económicamente los sistemas de recepción y los materiales de soporte de grabación de imágenes, así como el coste de mantenimiento de archivos; (iii) el incremento de programas internacionales de investigación y desarrollo por medio de técnicas de observación remota de la tierra en temas de clima y medio ambiente, conservación de los océanos, controles atmosféricos y estratosféricos, seguimiento de desastres naturales, etc; (iv) la globalización de la www. La difusión generalizada y mejora de calidad de las comunicaciones a través de la red de Internet; (v) la mejora de los lenguajes informáticos, su creciente potencia de compactación de datos y rapidez de transmisión.

La construcción y mantenimiento de una serie multitemporal encierra una rutina técnica muy precisa desde la obtención de las imágenes hasta la extracción de las diferentes respuestas espectrales de los elementos a estudiar. En nuestro caso debíamos obtener el valor del NDVI y para lograrlo ha sido precisa la captura de imágenes atendiendo a criterios espaciales y temporales concretos. El registro de imágenes se ha centrado sobre toda la península Ibérica, en horas que aseguraban un flujo de energía incidente similar. Por tanto, la fase de programación y registro de datos ha estado fuertemente controlada para evitar errores primarios de bulto en cálculos posteriores. La secuencia del proceso seguido ha sido :

1. Programación de capturas de imágenes NOAA-AVHRR.
2. Transformación señal HRPT a formato 1B mediante el software *SMARTrack*.
3. Transformación a formato .img para proceso con el software *Erdas Imagine*.
4. Georreferenciación de la imagen a proyección estándar y extracción del área de estudio.

5. Cálculo del índice de vegetación.
6. Cálculo de los NDVI MVC mensuales.



Los tiempos de proceso y volumen de datos se reseñan a continuación.

PROCESO (1 imagen Península Ibérica)	TIEMPO PROCESO (min.)	VOLUMEN MEDIO (Mb)
Recepción señal HRPT	5	40
Estandarización a formato 1b	2	30
Traspaso vía FTP de imagen 1b a sistema análisis de imagen	1,5	
Traspaso NOAA 1b a formato .img	3	18
Generación de vista previa	2	2
Georreferenciación		24
Ajuste parámetros por operador	4	
Proceso de máquina	3	
Generación del NDVI	3	12
Ajuste de la corrección geométrica	6	
Elaboración MVC del NDVI	8	(12)
Extracción área de estudio	3	2
TOTAL POR IMAGEN	40 min.	128 Mb
TOTAL 1012 IMÁGENES	40480 min. 675 horas	129.536 Mb 129.5 Gb

Tiempo y volumen de proceso de las imágenes NOAA para la serie NDVI87m.

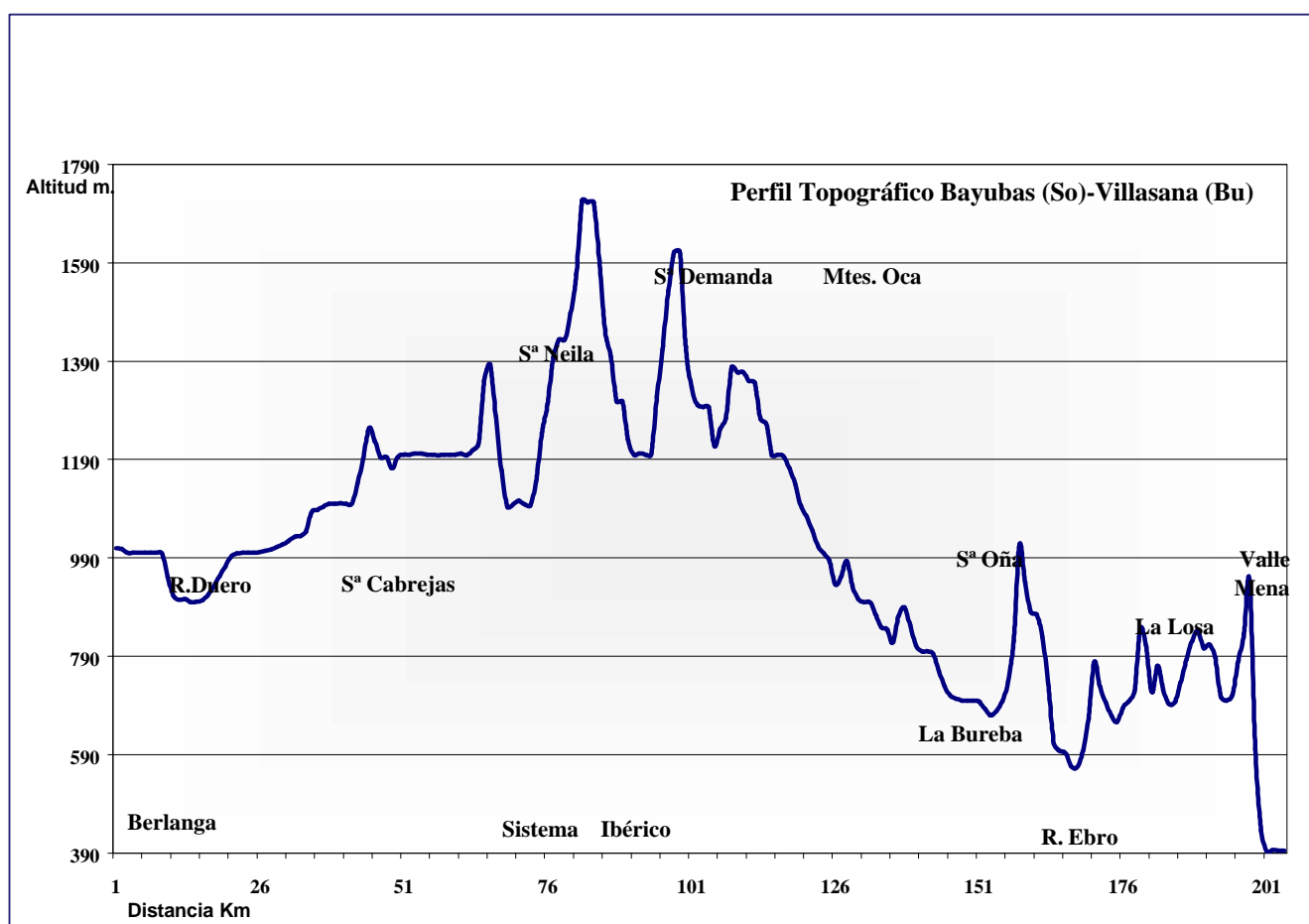
Como resultado de todo este proceso de cálculo del NDVI-MVC llegamos a la construcción de la imagen serie NDVI87m, *apilando* los 87 compuestos mensuales del valor máximo en una sola imagen de 87 bandas. La corrección geométrica de cada imagen con los mismos parámetros es lo que permite apilarlas en bandas independientes dentro de una misma imagen. Cada banda es, pues, secuencial en el tiempo. La banda 1 (B1) se corresponde con el NDVI-MVC de enero de 1990; la banda 87 (B87) cierra la serie, en marzo de 1997.

4. Análisis

La serie NDVI87m ha sido objeto de diversos procesos cuantitativos de análisis espacial y temporal. El número de MVC disponibles para un mismo mes en años diferentes ha permitido obtener valores medios estacionales y mensuales del NDVI para toda la Comunidad. En este trabajo presentamos un análisis espacio temporal de la respuesta espectral de las cubiertas a lo largo de un transecto entre Bayubas de Abajo (Soria) y Villasana de Mena (Burgos). El transecto elegido tiene un total de 204 Km. y está marcado por los vértices de las siguientes estaciones termopluviométricas:

	Código INM	Nombre	Altitud	Coord. X	Coord. Y
1.	2071	Bayubas de Abajo (So)	1000	413240N	025542W
2.	2087	Abioncillo de Calatañazor (So)	995	414210N	025202W
3.	2010	Abejar (So)	1130	414830N	024712W
4.	2319	Pantano de Arlanzón (Bu)	1140	421650N	032022W
5.	1077P	Villasana de Mena (Bu)	312	430555N	031702W

La figura 1 muestra el perfil topográfico del transecto.



En términos generales, la expresión gráfica de los valores espaciales del NDVI es, en algunos casos, la inversa a la de los alzamientos topográficos. Así, mientras que los cursos fluviales ocupan las zonas más bajas de la topografía, sin embargo concentran los valores del NDVI más altos por la respuesta espectral propia de la vegetación de ribera o de los regadíos adyacentes. Por el contrario, las cumbres topográficas, especialmente las del piso prealpino, están asociadas a valores bajos del NDVI, por tratarse de superficies descubiertas, canchales o comunidades fitológicas ralas. Los valores espacio-temporales del NDVI representados sondos, estacionales y mensuales:

1. NDVI medio **estacional** para cada pixel del transecto en comparación con el NDVI medio **mensual**. Las bandas de la imagen NDVI87m que han entrado a formar parte de cada promedio estacional se han agrupado de acuerdo con el siguiente criterio:

Estación	Mes	Bandas de NDVI87m
Invierno	Diciembre, Enero, Febrero	1, 2, 12, 13, 14, 24, 25, 26, etc ...
Primavera	Marzo, Abril, Mayo	3, 4, 5, 15, 16, 17, 27, 28, etc ...
Verano	Junio, Julio, Agosto	6, 7, 8, 18, 19, 20, 30, 31, etc...
Otoño	Septiembre, Octubre, Noviembre	9, 10, 11, 21, 22, 23, 33, etc ...

Al representar las medias estacionales del NDVI resulta sorprendente el grado de homogeneización que alcanza la actividad vegetativa de las especies en un trimestre, hasta el punto de no haber casi diferencia entre las medias estacionales. Las diferencias se encuentran en los valores decimales. Así, llegamos a la conclusión inmediata sobre el valor más que relativo del NDVI estacional como dato representativo y descriptor del comportamiento espectral de la vegetación y por ende de las cubiertas. Esto evidencia que, si un valor medio encubre los comportamientos extremos, la media de valores trimestrales del NDVI hace que el parámetro de medición pierda significancia. En una serie estadística mediada por trimestres, la variabilidad temporal se pierde muy pronto. En definitiva esto evidencia y nos informa de que la naturaleza de los elementos a medir (vigor de las masas vegetales) tiene que tener un análisis temporal a corto plazo para que su representación espacial sea significativa. Se debe recurrir a periodos más breves en los que las fluctuaciones fenológicas medidas no queden amortiguadas y pierdan significancia.

La figura 2 muestra gráficamente este hecho. Las curvas de las medias estacionales quedan prácticamente superpuestas como consecuencia de la homogeneización media de valores, manifestando que la respuesta del vigor de la vegetación a lo largo de las estaciones lo hace en función de parámetros geográficos estables como puedan ser la altitud, latitud, longitud, orientación, suelos, etc. De hecho, en caso de aceptar las medias trimestrales como válidas, habría muy poca diferencia entre éstas y la media anual. También se reflejan en esta figura los valores medios del NDVI de dos meses, para que resulte más evidente hasta que punto la media trimestral llega a distorsionar el estado real de la respuesta de las cubiertas en un periodo más corto.

Los comentarios que realizamos de la figura 2 se refieren a los valores medios estacionales pues aportan los caracteres generales de las cubiertas a escala regional - comarcal. El contraste con cualquier media mensual resulta además inmediato; con el fin de no cargar la figura con excesiva información, solo hemos representado las medias mensuales de enero y mayo. En resumen, el perfil recorre 204 Km, entre Bayubas (Soria, 1000m), en la comarca de Almazán, y Villasana de Mena (Burgos, 312m) en Merindades. Otras comarcas recorridas son: Soria, Pinares, Demanda y Bureba-Ebro. Distinguimos 5 zonas de valores similares de NDVI.

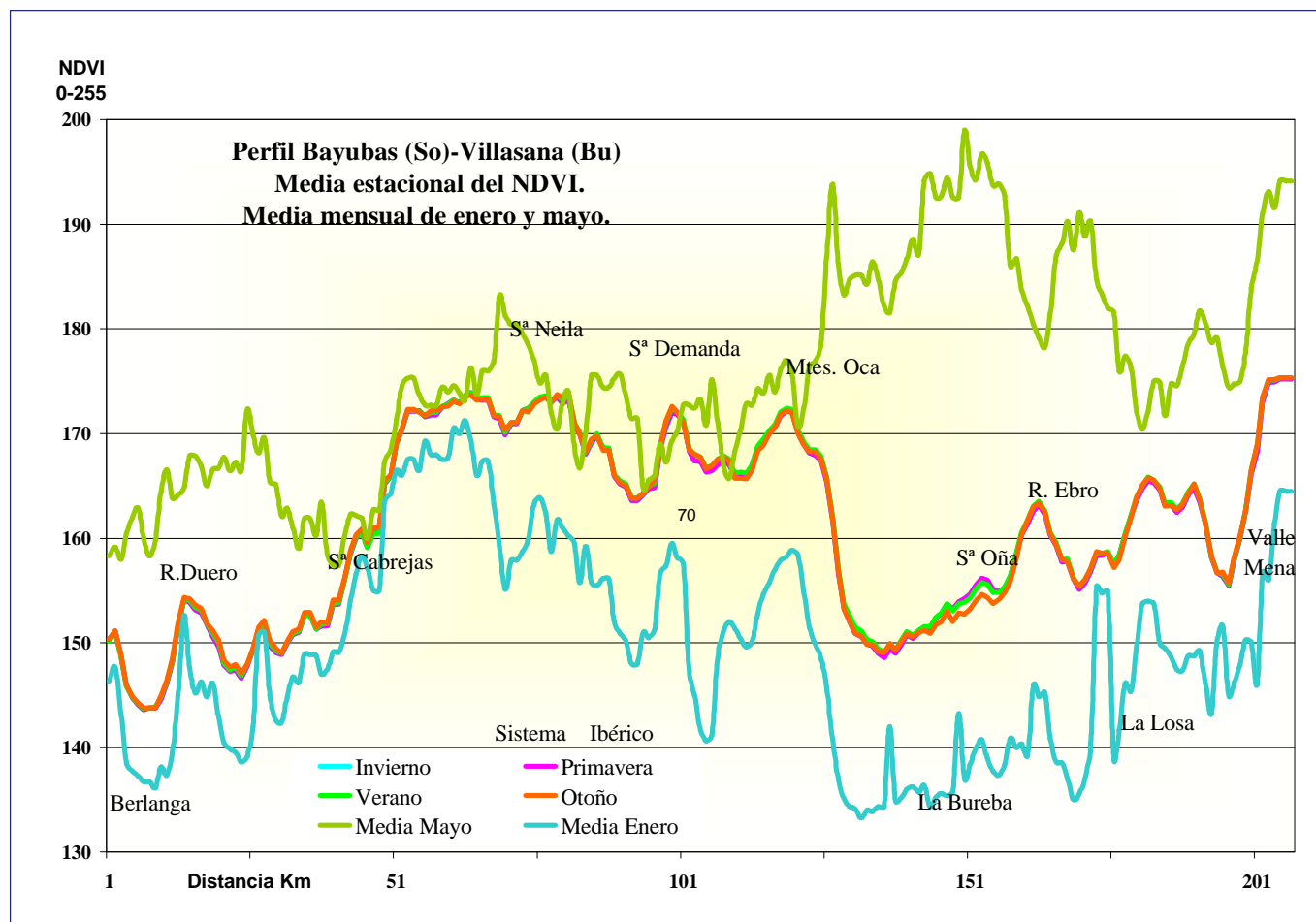


Figura 2. Perfiles del NDVI estacional y NDVI medio mensual.

- Zona del Marquesado de Berlanga-Osma:** El transecto empieza 12 km al sur del Duero, en un enclave cubierto por perennifolias y frondosas, lo que le hace tener un NDVI de 151 que desciende a los valores propios de las zonas cerealistas (143.7) al atravesar tierras de labor de secano y matorral de la vertiente sur del Duero en este punto del corredor de Osma-Almazán. El NDVI asciende a 154.8 en las riberas de los ríos Escalote y Duero. En la vertiente Norte del Duero el NDVI comienza un ascenso progresivo ante el aumento de fitoasociaciones robustas, en medios ya próximos al sistema Ibérico. (Abioncillo de Calatañazor, 152.4; cauce del río Abión 153.8). La Sierra de Cabrejas marca el límite de esta zona.
- Sistema Ibérico:** desde la sierra de Cabrejas (Soria) hasta el descenso de los montes de Oca hacia La Bureba (Burgos), la respuesta del NDVI es tan masiva y elevada como la propia topografía del Sistema Ibérico. Las fitoasociaciones de la Ibérica tienen una respuesta del orden de 20 puntos por encima de las cubiertas de la depresión. Esto corrobora y cuantifica el vigor de las masas vegetales de la zona: pinares, frondosas, perennifolias y asociaciones de pastizal, praderas y matorral. El cauce del río Ebrillos, que alimenta el embalse de la Cuerda del Pozo, supera ampliamente el valor 170 de NDVI, en la vertiente oeste de la sierra de Duruelo y de los Picos de Urbión, llega hasta 174 y se mantiene a lo largo de la sierra de Neila (174.3); después de un

descenso en Valdelaguna (170) y el cauce del río Pedroso (164), la sierra de la Demanda vuelve a elevar el NDVI a 173.2. En este punto, el transecto cruza los embalses de Arlanzón (166.1) y Uzquiza (161.8); la cubierta vegetal sobre los montes de Oca vuelve a alcanzar un NDVI de 173, que desciende brusca y notoriamente en su transición a la comarca de la Bureba.

- c. **La Bureba.** Esta comarca del NE de Burgos incrementa el NDVI de sur a norte en más de 5 puntos: el cauce del río Bañuelos, al sur de Briviesca tiene un NDVI de 150, mientras que en la sierra de Oña asciende a 155.8. Estos valores responden a una ocupación del suelo por tierras de secano para los valores más bajos y a explotaciones agrícolas entremezcladas con vegetación natural para los valores más altos, en la sierra de Oña. En esta se observa con gran claridad la diferencia entre el NDVI medio de verano y primavera (156) respecto al de otoño invierno (154.9), en los que el estado senescente de las masas de frondosas genera valores estacionales muy diferenciados.
- d. **Ribera del Ebro.** Salvados los Montes de Oca en dirección norte, comienza la cuenca del Ebro. El NDVI máximo alcanzado en este punto es de 164.5, entre los valores mínimos de los extremos de ambas riberas (155); Los máximos corresponden a explotaciones agrícolas mixtas y de regadío en la ribera, mientras que a medida que ascienden las terrazas se da paso al secano.
- e. **Valles de La Losa-Mena.** En dirección hacia la montaña norte burgalesa, el NDVI asciende hasta 165 en la ribera del Losa, desciende a 154 en las cumbres de la sierra Carbanilla y llega hasta 174.8 en el valle de Mena, valor más alto incluso que en el Sistema Ibérico.
2. Según la aplicación que se desee hacer de las series multitemporales, los procedimientos de comparación de datos pueden ser muy variados. La cartografía media mensual del NDVI es un dato comparativo de mayor utilidad si se toma como un parámetro dinámico. Los valores medios estacionales pueden sustituirse por mensuales o quincenales para el caso, por ejemplo, del control de maduración del cereal (Delgado, *et al.*, 1997)^{viii}. Puede tener la misma aplicación durante los meses estivales para valorar el estrés de las áreas forestales (Gates, 1991)ⁱ. De acuerdo con las especies y su fenología típica hay meses o quincenas en las que es crucial controlar el vigor de las especies, por exceso o por defecto. Sobre la trayectoria del perfil espacial de la figura 2 hemos contrastado los siguientes elementos para valorar **el NDVI-MVC mensual**:

- ✓ NDVI medio estacional, extraído de la serie NDVI87m (azul oscuro).
- ✓ NDVI del MVC de uno de los meses del promedio estacional, de los años 1992 (naranja) y 1996 (verde):

Primavera: Abril	Otoño: Octubre
Verano: Agosto	Invierno : Enero

- ✓ NDVI medio mensual del mes seleccionado en el punto 2 (azul claro).

Atendiendo a estudios climáticos de la década de 1990, (Ascaso, 1997)^{ix}, 1992 es un año seco, mientras que 1996 es un año relativamente húmedo. Esto se aprecia al comparar los perfiles del NDVI sobre un mismo transecto para los mismos meses de cada uno de los años. Como regla general, los de

1992 son más bajos que en 1996; aún así, los MVC mensuales del NDVI de 1992 no siempre se encuentran por debajo de las medias trimestrales o mensuales. Este tipo de análisis ayuda a matizar la valoración de sequías según se refiera a parámetros climáticos, agronómicos, fitológicos, etc. El recorrido del perfil es muy expresivo por las notables diferencias que ofrece el NDVI al atravesar áreas fisiográficas muy diferenciadas tapizadas por fitoasociaciones muy distintas como son la depresión de Almazán, el masivo bloque de la Ibérica Soriana y Burgalesa y el entramado de montañas y valles del N de Burgos. Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los resultados de este análisis, que comentamos a continuación.

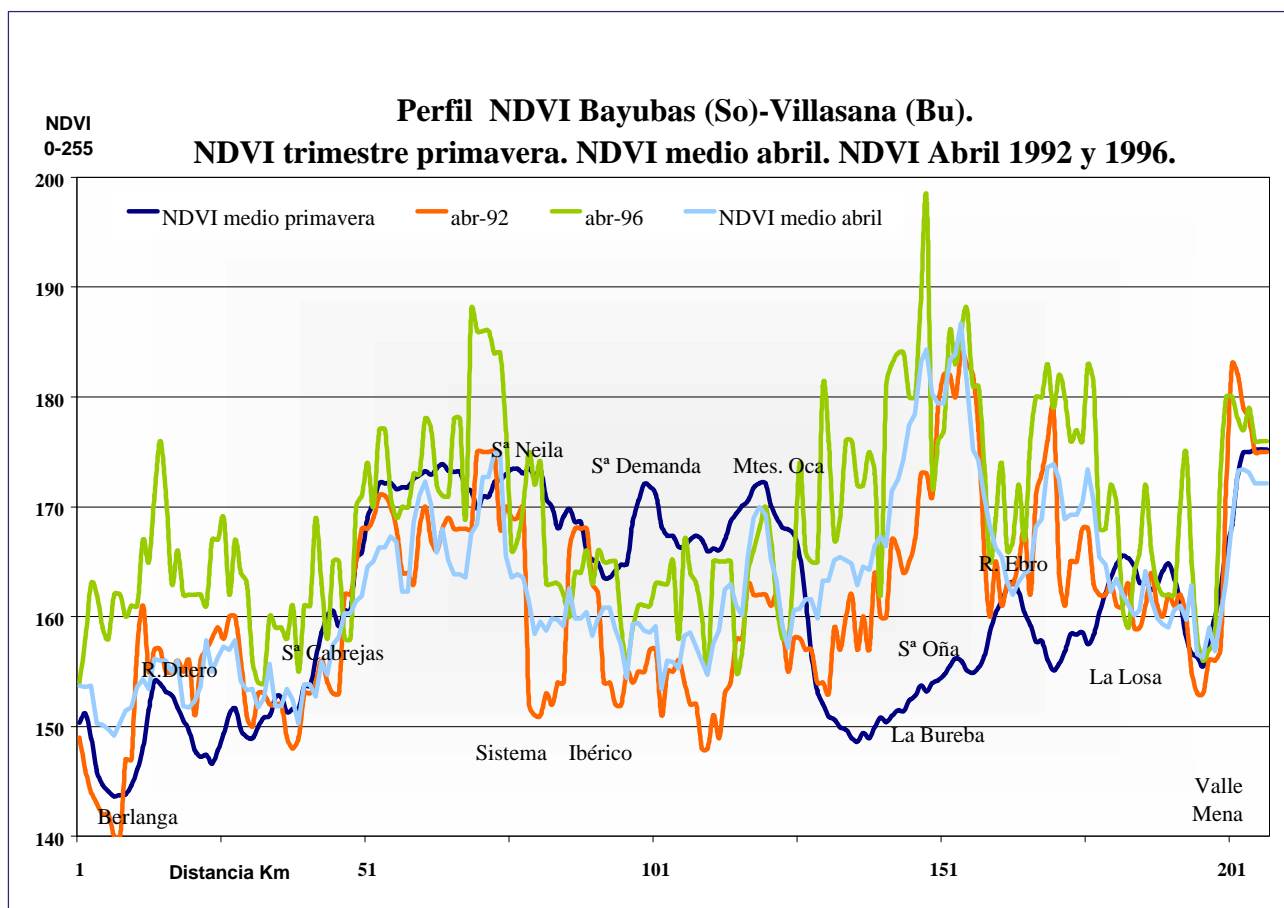


Figura 3. Comparación perfiles NDVI Primavera: estacional, mensual medio y mensual anual.

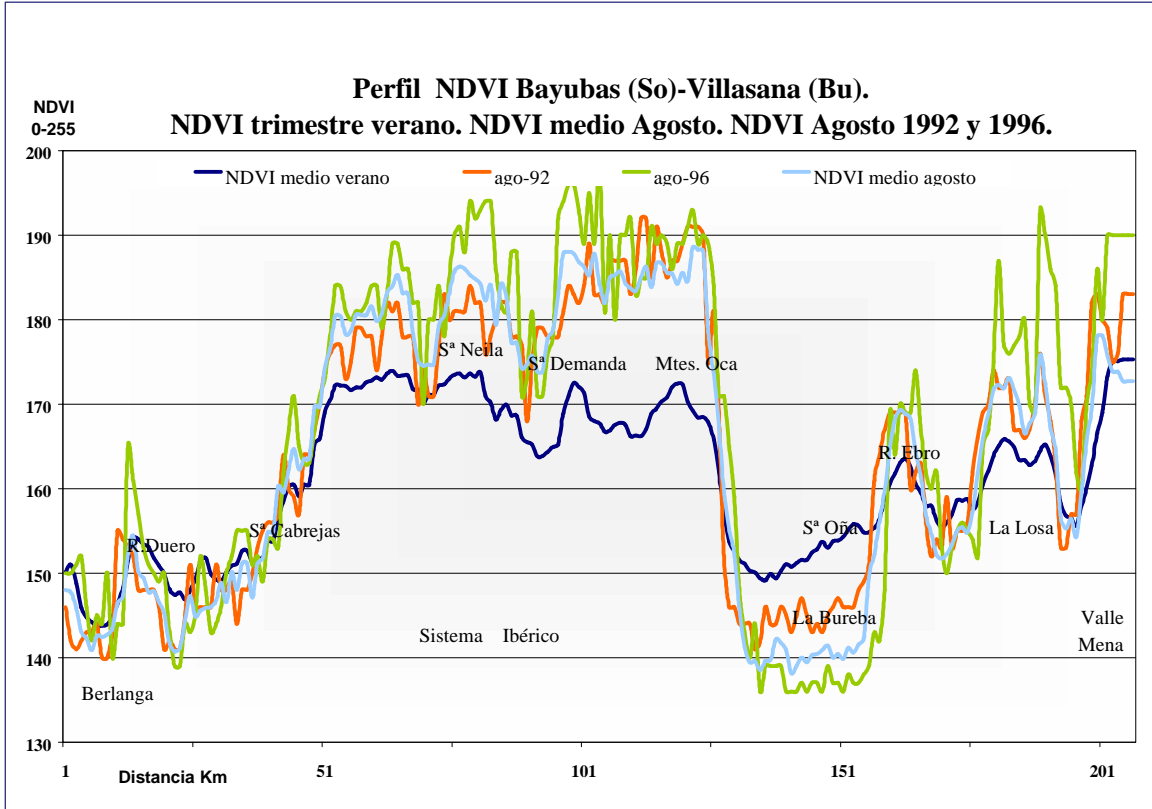


Figura 4. Comparación perfiles NDVI Verano: estacional, mensual medio y mensual anual.

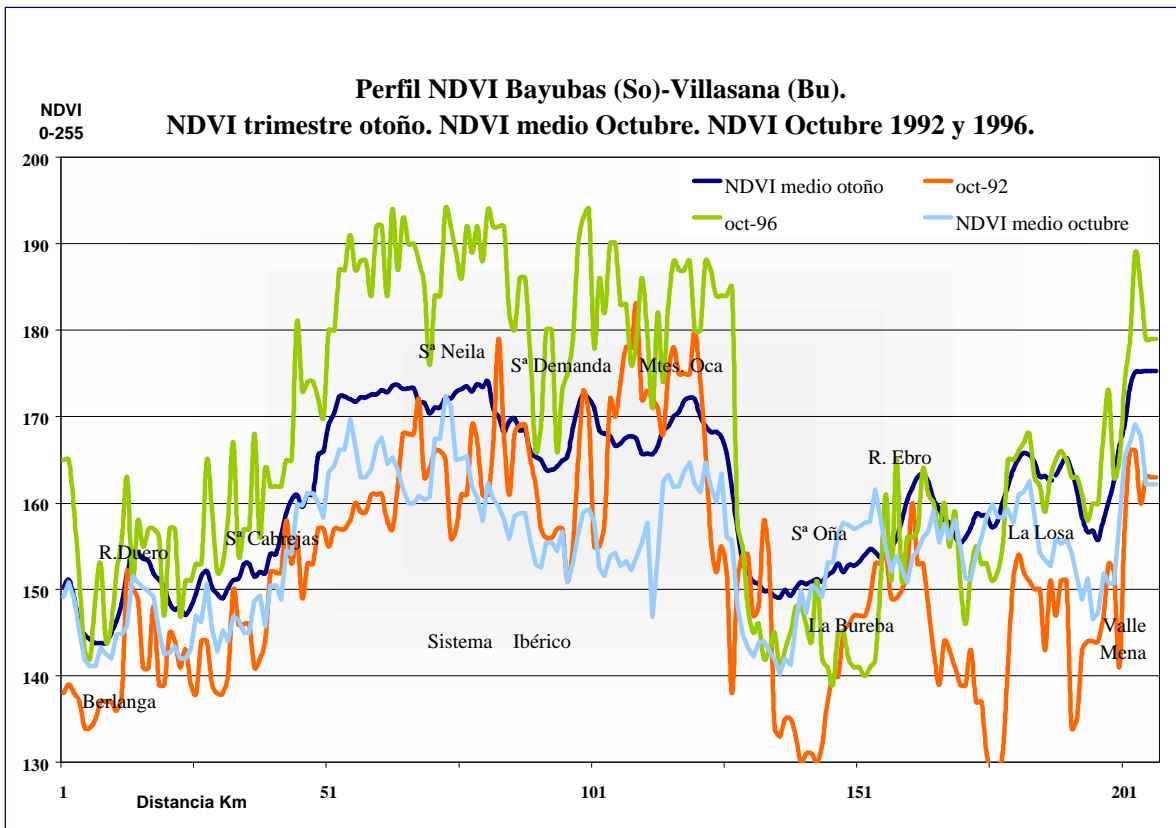


Figura 5. Comparación perfiles NDVI Otoño: estacional, mensual medio y mensual anual.

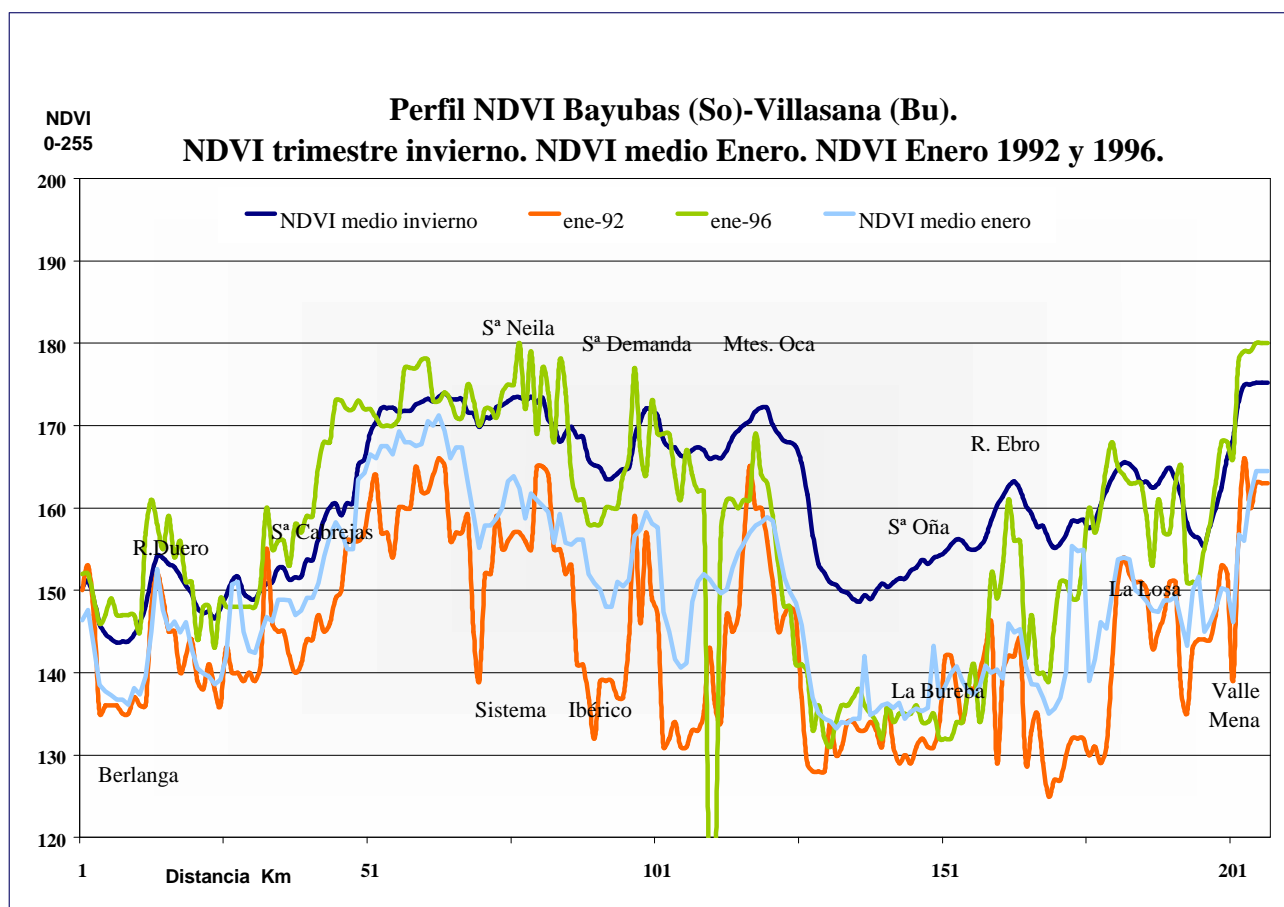


Figura 6. Comparación perfiles NDVI Invierno: estacional, mensual medio y mensual anual.

Berlanga-Osma: el perfil del NDVI en abril del 92 es ligeramente inferior a la media estacional de primavera entre Bayubas y las tierras regadas de la ribera del Duero; en la ribera norte del río ocurre lo mismo: cuanto más se alejan las tierras de labor del río, el NDVI decrece hasta situarse por debajo de la media primaveral. Aunque serían aconsejables otras comparaciones, esto alerta del bajo grado de maduración de las especies en ese preciso sector, mes y año. Sin embargo, abril del 96 registró un vigor vegetal 10 puntos por encima de las medias del trimestre de primavera para este mismo sector.

El NDVI del mes de **agosto** en relación con el trimestre de verano muestra en ambos años valores más bajos que la media, excepto en los regadío, que despuntan claramente. Las bandas correspondientes a los meses de verano son, por tanto idóneas para una clasificación diferenciada del regadío.

El **trimestre de otoño** es el que registra mayor oscilación en tramos espaciales muy pequeños, avisando la existencia de cubiertas fragmentadas y poco uniformes, es decir, algunas superficies en segunda cosecha de ciclo corto, entre otras en barbecho. Octubre de 1992 se situó por debajo de la media estacional en toda la comarca mientras que el de 1996 lo hizo ligeramente por encima.

El perfil del NDVI de **enero** evidencia el letargo vegetativo de las especies propio del invierno; la respuesta es casi plana excepto en los regadíos o riberas de cauces que soportan perennifolias u otras especies arbóreas de ribera que mantienen un mínimo de actividad vital.

Sistema Ibérico: al valorar en esta zona los perfiles del MVC del NDVI de los meses de **abril** del 92 y 96 frente a la media trimestral debemos concluir que abril es un mes de tímidos despuntes de la actividad vegetativa de las sólidas comunidades arbóreas y arbustivas que la cubren, y que se concentran claramente en los cauces de los ríos, sobre cotas topográficas relativamente más bajas y por tanto al abrigo de los últimos hielos y fríos. Comparativamente, el despunte de la primavera del año 92 es más débil.

Los valores absolutos del NDVI de **agosto** son los que demuestran la solidez y vigor interno de las especies predominantemente arbustivas y arbóreas de esta zona; el NDVI mensual está entre 5 y 10 puntos por encima de la media trimestral de verano; además, el vigor es creciente de Sur a Norte, entre la sierra de Abejar y la de la Demanda y los Montes de Oca.

La situación de estrés ambiental del año 92 queda de manifiesto en el mes de **octubre**: la presión de la sequía conduce a un estado de senescencia de las especies arbóreas, en especial de las frondosas, más temprano y acusado que el señalado por la media trimestral (sierra de Cabrejas Abejar, 5 puntos por debajo de la media). Por contraste, en el año 96 se verifica un hecho otoñal ordinario que supone un leve ascenso del NDVI y revigorización de las fitoasociaciones con las primeras lluvias otoñales antes del descenso drástico causado por la senescencia **invernal** (figura 5.24, comparación de los valores de enero con la media estacional). Aunque la zona está muy cubierta de perennifolias (pináceas), esto no puede conducirnos a pensar que el NDVI debiera tener una menor fluctuación interestacional. Las perennifolias también tienen distintas respuestas espectrales según la estación del año que se trate y además hay que tener en cuenta que el NDVI no discrimina en su cálculo el aporte espectral del suelo, que en el invierno de la Ibérica muchas veces permanece cubierto de nieve, contribuyendo a un NDVI más bajo de lo que correspondería.

La Bureba: Como hemos indicado, el perfil sobre la Bureba transcurre sobre tierras agrícolas de secano al Sur y la zona forestal de la sierra de Oña al Norte. El NDVI del mes de **abril** (92 y 96) supera en más de 10 puntos la media trimestral de primavera, tanto en la zona más agrícola como en la forestal. En otras palabras, las cubiertas en abril tienen mucho más vigor que el de la media primaveral calculada; por tratarse de una zona de valle, las especies despuntan su vigor fenológico en febrero-marzo, por lo que en abril se encuentran en plena potencia, como evidencia incluso la respuesta del año 92. Los perfiles del mes de agosto son la imagen opuesta de la anterior, con valores anuales muy inferiores a la media. Esto nos indica que esta zona sería un buen ejemplo para una clasificación estacional diferenciada. Sorprende que el NDVI de 1996 es notablemente más bajo en este mes (<140) que en 1992 (>145).

El perfil de octubre evidencia la variabilidad de vigor de las especies en otoño, por aprovechamiento puntual de algunas fitoasociaciones de las primeras lluvias de la estación que elevan el NDVI de manera puntual. La irregularidad de esta curva también resalta las tierras en regadío que en esta época aportan otra cosecha y por tanto contabilizan mayor NDVI. El perfil del mes de enero en esta zona es el característico de cubiertas en reposo.

Ribera del Ebro: El perfil del NDVI sobre la cuenca del Ebro entre Frías (sierra de la Llana) y Extremiana, es un ejemplo de respuesta espectral sobre una amplia vega. El NDVI medio de **primavera** es más alto que en la Bureba (162), aunque para el mes de abril ya de los años considerados es más bajo que en las zonas adyacentes de Bureba y La Losa; esto nos habla de una maduración primaveral más temprana, especialmente en el mes de marzo, por los aportes de agua y la menor altura de la vega, que con temperaturas más protegidas tiene una maduración más temprana en 15 o 20 días.

La singularidad como tierra de regadío se verifica en el NDVI del mes de **Agosto**, ya que mantiene estable la respuesta de su cobertura vegetal, incluso en un año de sequía como 1992.

En otoño, la media desciende tan solo dos décimas, pero los valores anuales evidencian una disminución generalizada a valores próximos a la media de otoño o ligeramente inferiores, dando cuenta del momento de madurez senescente de las cosechas regadas durante el verano.

Aunque el NDVI del mes de enero se encuentre por debajo de la media, registra un pico que delata una actividad vegetativa de las especies más activa que en la Bureba y similar a la de los valles de Losa y Mena.

La Losa-Mena: los ritmos del NDVI en estos valles siguen la tónica señalada en el Sistema Central.

5. Resultados

La elaboración de la serie NDVI87m y el análisis presentado en este trabajo suponen, en conjunto, una verificación metodológica de diversas técnicas de teledetección ya probadas; su valor radica en la construcción de una serie de observaciones NOAA-AVHRR especialmente larga y completa, soporte de futuros análisis y comparaciones. Así pues, la primera valoración recae, sobre la propia serie de observaciones NDVI87m. (i) Su elaboración demuestra la viabilidad de proceso y utilización directa de los datos registrados, por voluminosos e ingentes que estos puedan parecer. (ii) El nivel de proceso, compactación y simplificación de datos es tal que llega a hacer muy manejable una valiosa e, inicialmente, compleja información. Los casi 130 GB de datos procesados de las 1012 imágenes NOAA quedan simplificados en una imagen de 87 bandas y 19 Mb de volumen. (iii) La serie de datos del NDVI *apilados* en estructura temporal hace que estos sean realmente accesibles para consulta y análisis. (iv) La serie multitemporal hace posible mediar y tipificar los ritmos biológicos mensuales de las cubiertas. La *tipificación* mensual permite comparaciones puntuales del vigor vegetativo de las cubiertas. (v) Consideramos que 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, mejor adaptado a los ciclos mecánicos de cubrimiento y registro de los satélites NOAA en periodos de 11 días.

El ejemplo analítico aporta una muestra de las capacidades del archivo estadístico que guarda la propia estructura digital de la serie. Las figuras 2 a 6 son expresión de las medias trimestrales, mensuales y puntuales del NDVI. De la misma manera, las estadísticas de los MVC de cada banda permiten el acceso a los valores mínimos o máximos del NDVI. Entre los valores medios derivados de la serie multitemporal, destacamos (i) la inoperatividad de la **media estacional** o trimestral; (ii) el valor de las **medias mensuales** del NDVI puesto que, aunque la serie se *limita* a 7 años y 3 meses de observaciones, aporta una primera aproximación a imágenes mensuales medias del NDVI; (iii) se permite la comparación entre valores medios mensuales y los absolutos de un mes y año concreto; esto revela comportamientos particulares concretos en el espacio y en el tiempo, como por ejemplo que las situaciones generalizadas de sequía de 1992, se salvan, en términos vegetativos, en muchos reductos concretos. (iv) Los **perfiles espacio-espectrales** de la serie multitemporal muestran una muy buena discriminación del vigor de las cubiertas, aun en pequeñas áreas de cubiertas singulares, como cuencas fluviales muy modestas.

6. Agradecimientos

Agradecemos a Infocarto, S.A. las imágenes NOAA-AVHRR para la serie NDVI87m; gracias a la Profesora Pilar García Rodríguez por su guía en el desarrollo del trabajo.

7. Bibliografía

- Kidwell, K.B. (1991). *NOAA Polar Orbiter Data Users Guide, July 1991*. NOAA/NESDIS/NCDS/SDSD/, Washington DC.
- Justice, C., Townshend, J, Holben, B., y Tucker, C. (1985). Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *International Journal of Remote Sensing*, 6:1271-1318.
- Malingreau, JP. (1986). Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, 7:1121-1146.
- Townshend, J., y Justice, C.(1986). Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalised difference vegetation index, *International Journal of Remote Sensing*, 7:1435-1445.
- Holben, B.(1986). Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7:1417-1434.
- IGBP (1992) The International Geosphere –Biosphere programme: a study of global change. Improved global data from land applications. Report No. 20. Stockholm, Sweden: IGBP Secretariat.
- Proyectos de investigación financiados por la Comisión Europea. DGXII. CEO: Avicena, MEGAFIREs, SISMOSAT, CONTROL-FIRE-SAT, MARS, FIRS.
- Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt e. V. (DLR) Deutsches Fernerkundungs Datenzentrum (DFD). 82234 Obrepfaffenhofen. Germany.
- 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., Sanz Justo, J., Editores). Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Valladolid.
- Gates, D.M. (1991). Water relations of forest trees. IEEE. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29 (6): 836-842.
- Ascaso Alcubierre, P., (1997). *Variabilidad y riesgos climáticos y sus repercusiones en el paisaje natural y agrario. Análisis bioclimático y cuantificación de daños ocasionados por la sequía mediante teledetección y SIG*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía. Dto. AGR y GF. Inédita.

