

UTILIZACION DE IMAGENES NOAA PARA LA ESTIMACION DE RENDIMIENTOS DE COSECHAS EN CASTILLA Y LEON

J.A. Delgado de la Mata, P. Illera Gutiérrez y R. Terrab
E.T.S. Ingenierias Agrarias, Univ. de Valladolid. Dpto. Física Aplicada I.
Avda. de Madrid, n°57. 34004-Palencia
Tel :979-729048. Fax:979-712099

F. González Alonso
I.N.I.A., Apdo. 8111. 28080-Madrid
Tel:91-3476828. Fax:91-3572292

RESUMEN.- En el trabajo mostramos los resultados de la aplicación de los satélites NOAA para la estimación de rendimientos de las cosechas de trigo y cebada en Castilla y León.

Hemos utilizado las cosechas de 1993 y 1994. Las imágenes NOAA son recibidas y procesadas en nuestro laboratorio. Los datos de tierra, suministrados por la Junta de Castilla y León, corresponden a los resultados de las encuestas de superficie y rendimiento para los segmentos de 700x700 m² distribuidos en toda la comunidad.

Basándonos en la relación entre la suma acumulada del NDVI y los rendimientos hemos buscado un ajuste lineal. El mejor ajuste se consigue con la "cola" de la evolución del NDVI, con $r=0.69$. Para poder utilizar más de un año hemos observado la necesidad de utilizar un valor de fondo del NDVI para cada campaña, nosotros hemos tomado el valor del NDVI en enero. Los resultados del ajuste se han utilizado para la estimación de rendimiento obteniendo un error menor 9% en toda Castilla y León.

ABSTRACT.- One of the potential applications of the NOAA satellites is the estimation of crop yields using the temporal series of the vegetation index NDVI. In the present study this technique is applied to the estimation of crop yields (wheat and barley) over the large region of Castile and Leon in Spain.

NOAA images are received and processed in our laboratory. This allows us to have the images from the 1993 and 94 study campaigns available. The ground data used to find the linear relationship between the accumulated sums of the NDVI and the yields have been derived from the official surveys about crops surfaces and yields for 700 x 700 m² areas or segments which, distributed uniformly, cover the whole of the region.

The results obtained in the search for the linear relationship allow us to determine the acceptable relation between the accumulated sum of the NDVI of the pixel assigned to the area and the official yields. With the data from the two years, correlation coefficients of 0.69 are obtained. It is important to point out that the best correlation coefficients are obtained when the sum of the NDVI in the descending phase of the evolution curve is used and that, in order to be able to use and compare the data from different campaigns, a reference NDVI should be taken for each campaign (in our case, the NDVI value for January). This study has allowed us to calculate the yield for the whole region with relative errors of less than 9%.

1.- INTRODUCCION-DATOS UTILIZADOS

Una de las potenciales aplicaciones de las imágenes NOAA es su uso para la predicción de los rendimientos de cosechas (Benedetti et al., 1993). La buena resolución temporal de los satélites NOAA, se puede disponer, al menos, de una imagen diaria con luz solar, permitirá

elaborar series temporales del estado de la vegetación mediante el NDVI. Conociendo el ciclo del cultivo podremos relacionar la serie del NDVI con los rendimientos finales de la campaña.

En nuestro trabajo nos hemos planteado realizar un análisis de la potencialidad de las series del NDVI para estimar los rendimientos de cereal (trigo y cebada), que es el cultivo más importante en la comunidad de Castilla y León. Aproximadamente el 60% todo el suelo con uso agrícola se dedica al cultivo de trigo y cebada, y su producción representó, por ejemplo en 1994, el 45% de la producción total de España.

Los datos de suelo que hemos utilizado son los resultados de las encuestas de superficie y rendimiento de las campañas de 1993 y 1994. Dichas encuestas se realizan sobre un área (segmento) de 700x700 m² (49 ha), con un paso de red de 10 km. A partir de dichas encuestas hemos extraído la superficie total de cereal (trigo+cebada) y el rendimiento medio de cada segmento. El resultado final nos ha permitido disponer de 545 y 675 segmentos con algún uso de cereal en los dos años de trabajo 93 y 94. En la imagen 1 representamos la disposición de los segmentos utilizados en 1993.

Las imágenes NOAA han sido captadas y procesadas en nuestro laboratorio. Tras un pretratamiento geométrico (Illera et al,1995) y radiométrico (Kaufman and Holben, 1993) y eliminación de píxeles nubosos, hemos elaborado para períodos de diez días compuestos de valor máximo, MVC, (Holben,1986) de las imágenes del índice de vegetación NDVI.

A partir de las imágenes de MVC del NDVI hemos elaborado las curvas de evolución para cada segmento de la encuesta. Teniendo en cuenta que la resolución del NOAA es aproximadamente 1x1 km² hemos de asumir como válida la extensión de los resultados de las encuestas en 700X700 m² para el tamaño del pixel de la imagen NOAA.

Como ejemplo mostramos las curvas de evolución de las *figuras 1 y 2*. En la *figura 1* presentamos la evolución del NDVI medio para todos los segmentos con una superficie cultivada con cereal mayor de 30 ha (61% de uso cereal) y en la *figura 2* la evolución para un segmento localizado en la provincia de Palencia con 98% de uso cereal.

2.- RELACION ENTRE LAS SERIES DEL NDVI Y EL RENDIMIENTO

Para la búsqueda de la relación lineal entre las series del NDVI y los rendimientos de cereal hemos seleccionado los segmentos con un uso de cereal mayor del 60%. Con esta selección aseguramos que los segmentos sean representativas del ciclo de desarrollo del cultivo a estudiar (trigo y cebada). Observando las *figuras 1 y 2* podemos ver como el NDVI comienza a crecer en el mes de marzo, alcanza el máximo valor entorno a mayo-junio, dependiendo de las zonas, para caer de forma rápida, llegando a los valores mínimos a finales de julio. Si tenemos en cuenta que el NDVI es un indicador de la actividad fotosintética desarrollada en el pixel estudiado, parece lógico esperar que la suma acumulada de dicho índice estará relacionada con la biomasa generada en dicho ciclo. Dentro de las fases de desarrollo del cereal (Lopez,1991) se sabe que en la fase de maduración los únicos órganos que se desarrollan son los granos (aumenta el rendimiento) y además el área verde total se incrementa hasta la emergencia de la espiga para decaer después rápidamente hasta prácticamente cero.

Comprobando la relación entre el rendimiento y la suma acumulada del NDVI hemos constatado que, de acuerdo con las etapas de desarrollo del cereal, es la "cola" (desde el máximo hasta el final del ciclo) de la curva de evolución del NDVI la que mejor correlaciona con el rendimiento del segmento. Por ello hemos buscado una relación lineal como:

$$RENDIMIENTO(kg/ha) = A + B \cdot \sum_{d_1=152(1junio)}^{d_2=212(31julio)} \frac{(NDVI - NDVI_{enero})}{(d_2 - d_1)} \quad (1)$$

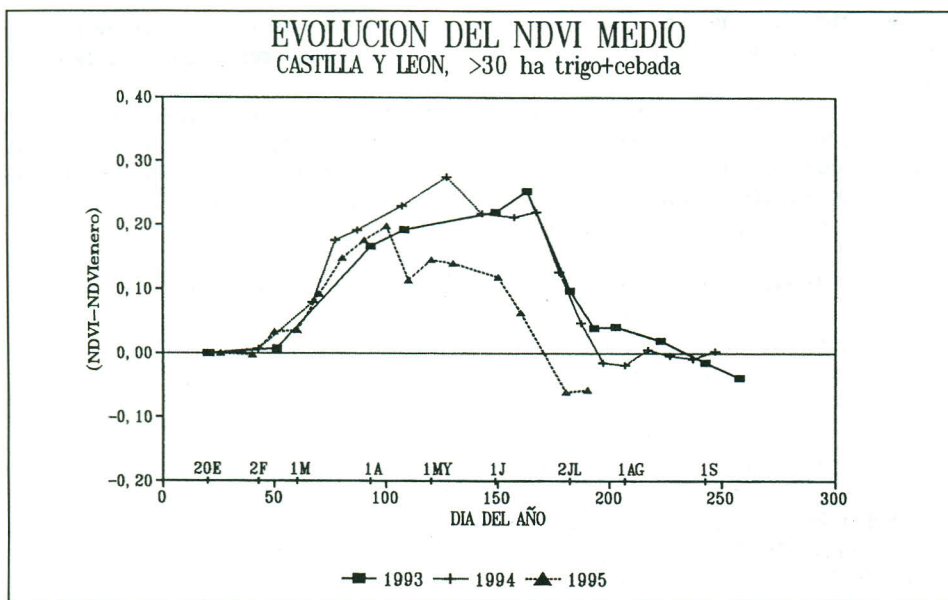


Figura 1.- Evolución del NDVI medio para todos los segmentos de Castilla y León con más de 30 ha (60%) cultivadas con trigo y cebada.

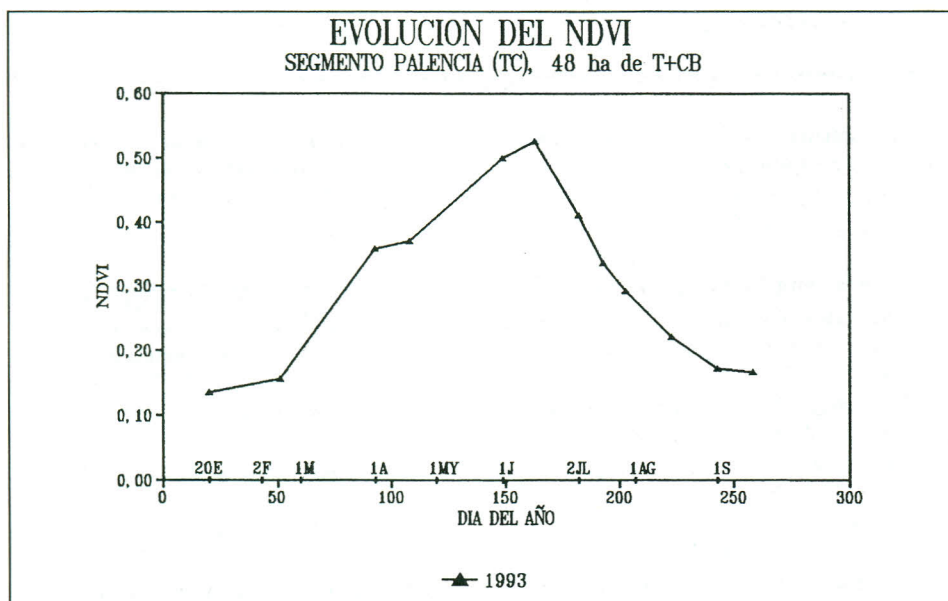


Figura 2.- Evolución del NDVI para un segmento con uso exclusivo en el cultivo de cereal (trigo+cebada). Se localiza en Palencia (comarca de Tierra de Campos).

Es importante destacar que para poder trabajar con diversas campañas y así mejorar la muestra es necesario tomar como origen del NDVI el valor de enero (valor de fondo para cada campaña).

Los resultados obtenidos en los ajustes para cada campaña, 93 y 94, por separado y el total con los dos años juntos se puede observar en la *figura 3*. Mediante líneas representamos las rectas resultantes de los ajustes y con puntos los datos utilizados para los ajustes. En la tabla I mostramos los datos numéricos resultantes de dichos ajustes.

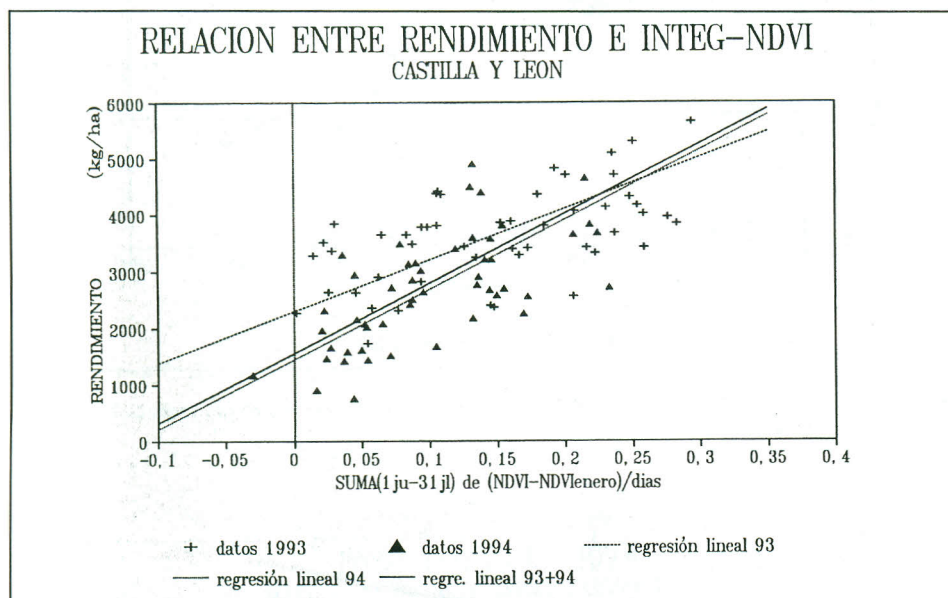


Figura 3.- Resultado del ajuste entre la suma acumulada del NDVI en la fase de maduración (caída en la curva de evolución) y los rendimientos medios de los segmentos. Representamos los segmentos seleccionados en cada año y las rectas de ajuste para cada año y la resultante utilizando conjuntamente los dos años. En la Tabla I se presentan los resultados numéricos.

AÑO	N número de segmentos	A (ordenada)	B (pendiente)	R coef. correlac	E.S.E. error de estimación
1993	50 (>35 ha cereal)	2290 ± 220	9100 ± 1200	0.52	422
1994	50 (>30 ha cereal)	1450 ± 200	12350 ± 1600	0.54	453
93 + 94	100 50/93+50/94	1550 ± 135	12360 ± 830	0.69	340

Tabla I: Resultados del ajuste lineal entre la suma acumulada del NDVI y los rendimientos.

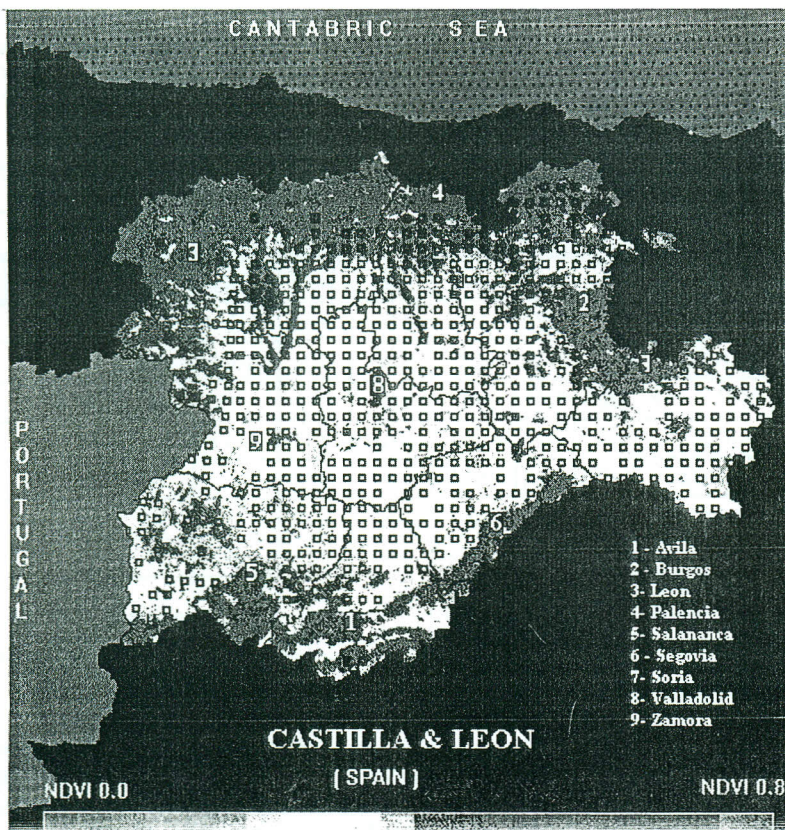


Imagen 1: Imagen de la suma acumulada del NDVI dividida por el número de días de la suma (NDVI medio del ciclo), en el ciclo marzo-septiembre. Sobre la imagen localizamos los segmentos utilizados en la campaña 1993 (C. 3)

3.- ESTIMACION DE RENDIMIENTO

Nos hemos propuesto estimar la validez del ajuste realizado entre el rendimiento y la suma acumulada del NDVI para realizar una estimación del rendimiento total en la comunidad y en cada provincia. Para realizar dicha estimación utilizaremos todos los segmentos con más de 10 ha de uso cereal (trigo+cebada), de esta forma disponemos de una muestra suficiente para suponer que la media del rendimiento en dichos segmentos sea la media de total de la comunidad o de cada provincia.

Los resultados obtenidos los resumimos en la tabla II. Para toda la comunidad hemos obtenido una diferencia entre los datos oficiales y los obtenidos mediante el ajuste de 8.2% en el año 1993 y de 2.3% en el año 1994.

A nivel provincial podemos observar que para las provincias de Valladolid y Burgos (que representan aproximadamente el 40% de la producción total de la región) tenemos también muy buenos resultados.

PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO EN CASTILLA Y LEÓN											
PROVINCIA	RENDIMIENTO (AÑO 1993)			RENDIMIENTO (AÑO 1994)			NUMERO de segmentos para predicción > 10 ha trigo + cebada		NUMERO segmentos para el ajuste lineal (1) AÑO		
	(kg/ha)			(kg/ha)							
	Datos Oficiales	Estimación NDVI (ajust 93+94)		Datos Oficiales	Estimación NDVI (ajust 93+94)		1993	1994	1993	1994	
		Rend	Dif(%)		Rend.	Dif(%)					
CASTILLA - LEÓN	3643	3387	-8.2	2614	2675	+2.3	270	403	50	50	
1	AVILA	3577	2576	-27.9	1776	1960	+10.4	20	29	2	3
2	BURGOS	4408	4440	+0.7	3365	3491	+3.7	50	71	9	8
3	LEÓN	3908	3221	-17.6	2718	2742	+0.9	12	14	1	1
4	PALENCIA	3432	3877	+13.0	2916	3312	+13.6	39	64	6	8
5	SALAMANCA	3400	2300	-32.3	2598	2052	-21.0	25	30	6	4
6	SEGOVIA	3426	2870	-16.2	2063	2378	+15.3	23	37	2	4
7	SORIA	3888	3301	-15.1	2014	2515	+24.9	27	45	3	5
8	VALLADOLID	3472	3516	+1.3	2616	2604	-0.5	51	77	13	16
9	ZAMORA	2839	2580	-9.1	2417	1733	-28.3	23	36	8	1

Tabla II: Resultados de predicción del rendimiento y comparación con los datos oficiales.

Tenemos tres provincias con errores apreciables y del mismo signo para los dos años. Salamanca y Zamora con una clara subestimación y por otra parte en Palencia tenemos una sobreestimación. Las figuras 4 y 5 son representativas del origen del error cometido, en dichas gráficas mostramos los datos oficiales de los segmentos utilizados y la recta ajustada que aplicamos para realizar la predicción. La existencia de estos errores sistemáticos pueden tener su origen en haber fijado un intervalo temporal fijo para el cálculo de la suma acumulada del NDVI para toda la comunidad. Buscando dos segmentos de las provincias de Zamora y Palencia (ambos de la comarca de Tierra de Campos) muestran claramente en la figura 6 la diferencia del ciclo de desarrollo.

Finalmente hay provincias con errores que fluctúan y no marcan un error sistemático y cuyo origen ha de ser estudiado con más detalle.

4.- REFERENCIAS

BENEDETTI, R. and ROSSINI, P., (1993) On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote Sensing of Environment*, **43**, pp 311-326.

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

ILLERA, P., DELGADO, J. A. and CALLE, A., (1995) A navigation algorithm for satellite images. Accepted for publication in the *International Journal of Remote Sensing*.

KAUFMAN, Y. J. and HOLBEN, B. N., (1993) Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *International Journal of Remote Sensing*, **14**, pp 21-52.

LOPEZ BELLIDO, L. 1991. Cultivos herbáceos, vol I Cereales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

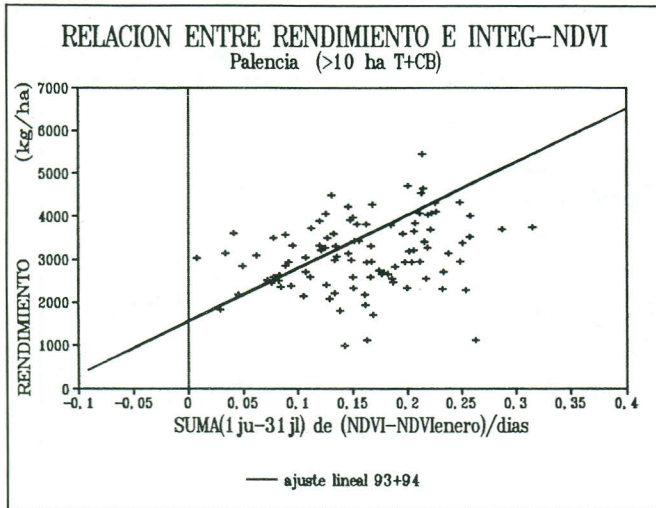


Figura 4.- Distribución de los segmentos utilizados para la estimación del rendimiento en la provincia de Palencia frente la recta ajustada para la predicción. Esta distribución explica claramente la sobreestimación.

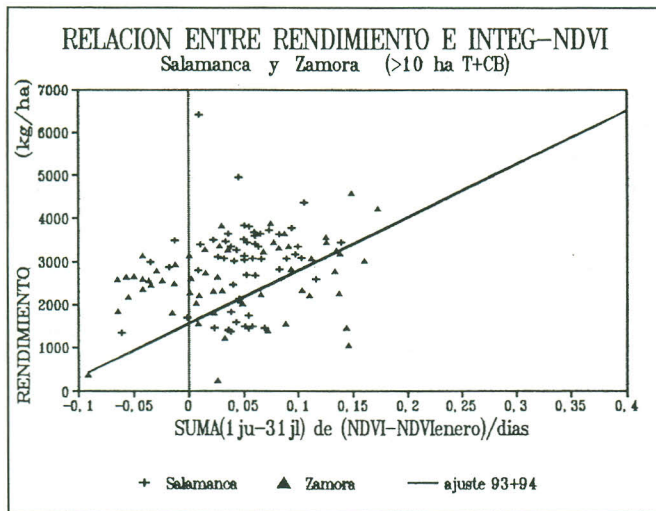


Figura 5.- Distribución de los segmentos utilizados para la estimación del rendimiento en Salamanca y Zamora frente la recta ajustada para la predicción. Esta distribución explica claramente la subestimación.

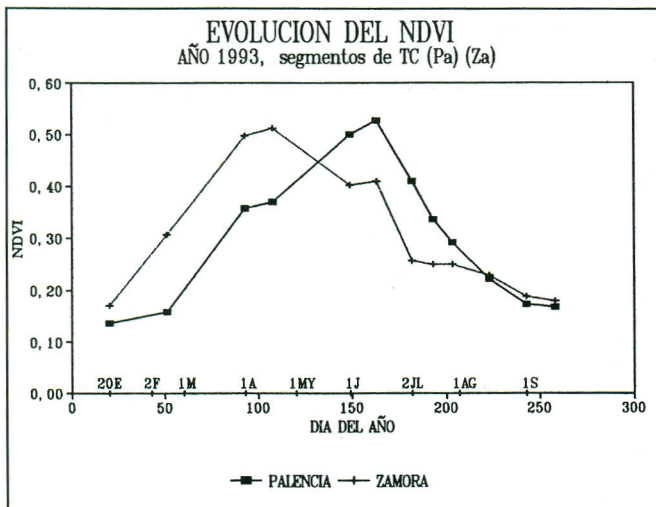


Figura 6.- Comparación entre la evolución del NDVI para dos segmentos. El primero localizado en la provincia de Palencia y el segundo en Zamora. Se aprecia claramente el adelanto del ciclo de desarrollo para el localizado en Zamora.