

## **EI NDVI (AVHRR-HRPT) como determinante de la representatividad de las medidas de precipitación en la zona de EFEDA**

*E. López Baeza<sup>1</sup> – J. Meliá<sup>1</sup> – J. Moreno<sup>1</sup> – D. Segarra<sup>1</sup> – J. Tamayo<sup>2</sup>*

(1) Unidad de Investigación de Teledetección  
Universitat de València

(2) Centro Meteorológico Territorial de Valencia  
Instituto Nacional de Meteorología

### **RESUMEN**

El impacto que posee la precipitación en el régimen medioambiental se ha puesto de manifiesto en estudios de correlación entre aquella y los índices de vegetación. Dentro del contexto del Proyecto EFEDA es interesante estudiar esta correlación para la zona de Castilla-La Mancha, donde el clima predominante da lugar a inviernos fríos y lluviosos y a veranos cálidos y secos, extendiéndose el desarrollo de la vegetación desde la primavera hasta el otoño. Utilizando los datos del año 1991 y en este contexto, el estudio de la correlación se ha llevado a cabo de dos modos diferentes pero complementarios. Por una parte, se ha realizado una correlación "punto a punto" entre los valores de la precipitación registrados en 165 de las estaciones pluviométricas que el I.N.M. tiene en la región y los valores medios en un área de 25 km<sup>2</sup>, alrededor de cada estación, de los NDVI obtenidos a partir de datos HRPT del sensor AVHRR del NOAA-11. Por otra parte, se ha generado un mapa digital de lluvias modulado por un mapa de alturas que se ha correlacionado "imagen a imagen" con el mapa de NDVI obtenido para toda la zona de EFEDA. En ambas correlaciones también se ha tenido en cuenta el carácter que presentan los diferentes períodos pluviométricos considerados.

### **SUMMARY**

The impact of precipitation on the environmental regime has been shown in correlation studies between rainfall and NDVI. Within the context of the EFEDA Project, it is interesting to study this correlation for the region of Castilla-La Mancha where the dominant climate is that of cold and rainy winters and hot and dry summers and vegetation develops mainly from spring to autumn. By using data from 1991 and within this context, this correlation study has been carried out in two different but complementary ways. On the one hand, a "point-to-point" correlation has been obtained between precipitation values registered at 165 pluviometric stations scattered in the region and the mean values, within an area of 25 km<sup>2</sup> around each station, of NDVIs derived from AVHRR-HRPT data. On the other hand, a digital

rainfall map modulated by an altitude map has been generated to be correlated "image-to-image" to the NDVI map obtained for the whole of the EFEDA area. In both correlations, the rainfall character of the different pluviometric periods considered has been taken into account.

### **Introducción**

En numerosos trabajos se ha puesto de manifiesto la relación entre los índices de vegetación y diversos parámetros meteorológicos, mostrando un buen entendimiento del impacto que éstos presentan sobre el régimen medioambiental. Entre dichos parámetros, uno de los más importantes es la precipitación, la cual afecta al desarrollo de la vegetación en una región, tanto cuantitativamente como en su distribución temporal.

Entre los numerosos índices de vegetación existentes en la bibliografía, uno de los más utilizados en las aplicaciones medioambientales de la teledetección es el Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI), sugerido por Rouse et al. (1974), el cual muestra una alta correlación con diferentes parámetros de la vegetación, como son la cobertura (Tucker et al. 1985, etc.), la biomasa total (Smith et al., 1986, etc.) o los índices de superficie foliar (Asrar et al., 1984, etc.). También se ha utilizado para realizar predicciones de cosechas (Justice et al., 1985, etc.), seguimiento de la deforestación tropical (Malinrau and Tucker, 1988, etc.), o estudio de masas forestales (Inversion et al., 1990, etc.). El NDVI se relaciona con el vigor de la vegetación, de forma que cuando ésta se encuentra afectada por un déficit de agua, así como al final del período de crecimiento, la absorción de la clorofila se debilita y el índice de vegetación disminuye, resultando ser entonces una medida de la actividad fisiológica de las plantas. El empleo del NDVI se ha generalizado para analizar cambios globales en la vegetación a partir de los datos suministrados por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) instalado a bordo de los satélites de la serie NOAA. Este es un instrumento especialmente adecuado en el seguimiento regional de la vegetación, al unir una alta frecuencia temporal con una resolución espacial baja y una alta resolución radiométrica en las zonas roja e infrarroja próxima del espectro (Goward et al., 1991).

Una mejora en la comprensión del impacto de la lluvia en el régimen medioambiental se ha obtenido a partir de diversos estudios de correlación que se han realizado entre las precipitaciones y los NDVI, especialmente en zonas semiáridas, donde el crecimiento de la vegetación se dispara con las primeras lluvias, la producción primaria se relaciona de forma muy estrecha con la precipitación y el ciclo de crecimiento de las plantas depende fundamentalmente de la disponibilidad de agua (Justice et al., 1985, Hielkema et al., 1986, Kerr et al., 1989, etc.). Las precipitaciones en

zonas áridas y semiáridas presentan grandes variaciones espaciales y temporales. Las regiones típicamente semiáridas reciben las precipitaciones durante unos pocos meses del año, siendo también característico del régimen de lluvia la falta de precipitaciones adecuadas durante muchos meses. La variabilidad interanual de la precipitación es alta en general, siendo la distribución estacional y la cantidad total de precipitación factores importantes en la adaptación de los cultivos a una zona determinada.

Resulta ahora interesante investigar estas relaciones para la zona de estudio de EFEDA, donde las características climáticas son bastante diferentes a las anteriormente mencionadas. Las lluvias se reparten a lo largo de todo el año, con inviernos fríos y húmedos y veranos calurosos y secos. En esta zona, el crecimiento de las plantas se concentra fundamentalmente en la primavera y principios del otoño, y a diferencia de las zonas típicamente semiáridas, presenta una diversidad bastante apreciable de cultivos, alternándose zonas de cereal, viñedos y superficies significativas de matorrales, pastos y bosques, así como de regadíos. Este último factor es especialmente importante, ya que el desarrollo de una agricultura intensiva de regadío ha incrementado grandemente la explotación de los recursos acuíferos de la región.

Se ha llevado a cabo un estudio de las correlaciones entre las precipitaciones registradas en 165 estaciones pluviométricas que el Instituto Nacional de Meteorología posee en la zona donde se desarrolla EFEDA, durante el período que abarca desde septiembre de 1990 a mayo de 1991, y los NDVI de mayo de 1991, máximo desarrollo de la vegetación, obtenidos a partir de los datos suministrados por el sensor AVHRR, instalado en el NOAA-11. Estas correlaciones se han realizado desde dos puntos de vista diferentes pero complementarios. Por una parte, se realizan correlaciones que pueden denominarse "punto a punto", entre los valores de precipitación registrados en cada estación pluviométrica con los valores medios de los NDVI calculados en una zona de 25 km<sup>2</sup> centrada sobre las coordenadas geográficas de la misma. Por otra parte, se efectúa una correlación "imagen a imagen" entre mapas de índices de vegetación obtenidos directamente a partir de los datos de satélite y mapas de precipitación generados por interpolación a partir de los datos disponibles de la red de estaciones. Estos mapas digitales de lluvias se han modulado mediante un mapa de alturas también generado de un modo similar.

#### ***Correlación "punto a punto" entre NDVI y precipitaciones***

Para el período de otoño, 1990 a primavera, 1991 (septiembre a mayo) se han obtenido las precipitaciones registradas en 165 estaciones pluviométricas que el Instituto Nacional de Meteorología posee en el área EFEDA. Estas precipitaciones se correlacionan con los NDVI obtenidos en dicha zona para el mes de mayo de 1991, previo a la realización de la cosecha.

Los NDVI se han obtenido a partir de datos HRPT del sensor AVHRR recibidos en la estación ESA de Maspalomas, en las Islas Canarias, archivados en formato SHARP. Las únicas fechas en que fueron aprovechables los datos recibidos en dicha estación para el cálculo de los índices de vegetación del mes de mayo han sido las correspondientes a los días 26 y 27. Mediante la técnica de composición de valores máximos (Holben, 1986), se ha obtenido la imagen del NDVI correspondiente a mayo de 1991 (Moreno et al., 1992a). La corrección geométrica de las diferentes imágenes se realiza utilizando un potente algoritmo basado en parámetros orbitales y desarrollado en un contexto de integración de datos AVHRR con datos de alta resolución (Moreno et al., 1992b). El procesado en un ordenador IBM 3090 permite un cálculo rápido sin necesidad de introducir aproximaciones. Mediante dicho algoritmo se pueden producir registros de tamaño subpixel de forma operativa (Moreno and Meliá, 1993). Esta capacidad de registro con esta precisión es especialmente necesaria en la generación de los compuestos multitemporales de NDVI para la extracción del valor máximo de la serie. Además de evitarse los importantes errores que se generarían en tales compuestos de haber desviaciones en el registro de las imágenes, se evita también el problema de las nubes pequeñas (o nubes contaminantes a nivel subpixel) que normalmente son muy difíciles de eliminar en la generación de los compuestos. Los valores de los NDVI se han calculado a partir de la transformación de las cuentas digitales en radiancias, utilizando los coeficientes de calibración publicados (Holben et al., 1990), convirtiéndolas en reflectividades suponiendo un comportamiento lambertiano de la superficie. La corrección atmosférica de cada uno de los canales se realiza mediante el código de transferencia radiativa 5S (Tanré et al., 1990), suponiendo un modelo de atmósfera standard y valores típicos de los parámetros atmosféricos, acordes con la climatología de la zona.

Para realizar la correlación con las precipitaciones registradas en cada una de las estaciones pluviométricas, se localizan las coordenadas de éstas en la imagen generada de índices de vegetación, asignando a cada uno de estos lugares un NDVI medio, correspondiente a un área de  $5 \times 5 \text{ km}^2$ , mediante una interpolación de convolución cúbica de una red cuadrada de  $11 \times 11$  pixels alrededor de cada estación. Para llevar a cabo la correlación, no sólo es importante considerar la cantidad total de precipitación caída en un determinado período, sino también el carácter que éste presenta (muy seco, seco, normal, húmedo o muy húmedo). En la región de EFEDA se han calculado los quintiles de los diferentes períodos pluviométricos, a partir de los cuales se puede determinar su carácter mediante un análisis de la distribución de las precipitaciones en la zona en un período de 30 años (Tamayo, 1994).

En el período considerado en este estudio, desde otoño de 1990 a primavera de 1991, las precipitaciones han sido en general inferiores a las normales, presentando un carácter muy seco la mayor parte de la zona, salvo el cuadrante SE, donde predo-

minaba el carácter seco. Desde un punto de vista estacional, el otoño presentó precipitaciones por encima de lo normal en la mayor parte de la región, el invierno fue predominantemente muy seco y la primavera tuvo una variabilidad mayor, siendo entre muy seca y seca en la mitad occidental de la zona y entre normal, húmeda y muy húmeda en la oriental (Tamayo et al., 1992).

En la figura 1a se muestra la correlación obtenida entre las precipitaciones acumuladas en el período considerado. Se puede apreciar cómo este ajuste es aceptable, con un coeficiente de correlación alto. En dicha figura se señalan los puntos que posiblemente correspondan a zonas de regadío, ya que presentan índices de vegetación relativamente altos con lluvias bajas.

En la figura 1b se muestra el resultado de la correlación "punto a punto" teniendo en cuenta el carácter de cada una de las estaciones pluviométricas. Puede apreciarse como disminuye la pendiente conforme aumenta el carácter húmedo de las precipitaciones, lo cual señala una mayor sensibilidad de la vegetación a las precipitaciones cuanto más por debajo de lo normal han sido éstas, así como un aumento en la ordenada en el origen conforme aumenta el carácter húmedo, indicando un nivel medio más alto de la vegetación en dichas zonas.

#### *Correlación "imagen a imagen" entre NDVI y precipitaciones*

A partir de los datos pluviométricos obtenidos en las 165 estaciones de medida se pueden generar mapas de precipitación acumulada en todo el período considerado, desde otoño hasta primavera, que se pueden correlacionar con la imagen de los NDVI de mayo. Dichos mapas de precipitación se obtienen a partir del promediado de los valores de lluvia registrada en las estaciones pluviométricas, siguiendo el método de interpolación de promedio lineal, asignando pesos a cada una de las estaciones, técnica que da generalmente buenos resultados cuando se aplica a las precipitaciones (Beek, 1991). En este caso los pesos  $W(x)$  son funciones que dependen de las distancias entre el punto de interpolación y cada una de las estaciones del conjunto de datos de acuerdo con la expresión (López-Baeza et al., 1993):

$$W(x) = \frac{a}{1 + b \cdot x^c}$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son parámetros empíricos que se eligen en función de la densidad de puntos de interpolación existentes. La imagen de precipitación generada es de 1024 x 1024 pixels, superponible a los mapas de la zona de escala 1:800.000 en coordenadas UTM.

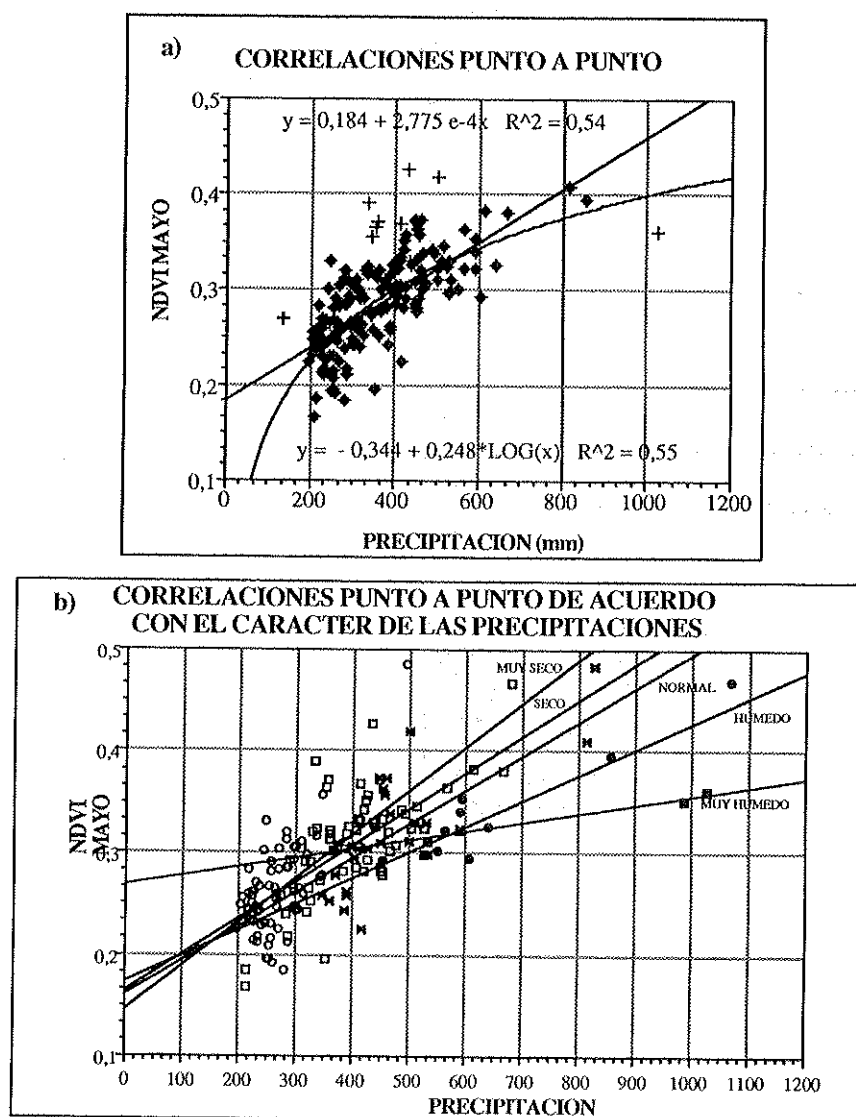


Figura 1

- a) Correlación "punto a punto" entre el NDVI de mayo de 1991 y las precipitaciones acumuladas en el período otoño + invierno + primavera anterior. (con + se señalan las estaciones no consideradas en la correlación por tratarse de zonas de regadío.
- b) Parametrización de la correlación anterior de acuerdo con el carácter pluviométrico de las estaciones

*El NDVI (AVHRR-HRPT) como determinante de la representatividad de las medidas de precipitación en la zona de EFEDA*

A la hora de tener en cuenta el carácter que ha presentado el período pluviométrico, se asignan valores numéricos a los caracteres de cada estación y, empleando los mismos criterios de interpolación que para las precipitaciones, se obtienen mapas del carácter de las lluvias. En las figuras 2a y 2b se muestran respectivamente los mapas de precipitación acumulada desde septiembre de 1990 a mayo de 1991 y del carácter de las mismas.

La precisión de la corrección geométrica realizada a la imagen del NDVI de mayo de 1991 y descrita anteriormente, así como el empleo de métodos especiales de interpolación, permite realizar análisis multitemporales con tamaño de pixel inferiores a 500 m en el remuestreo de los datos (Moreno y Meliá, 1993). En este caso, los datos originales del AVHRR se han remuestreado a un tamaño de pixel de 160 m, puesto que de esta manera se pueden generar los mapas de NDVI a escala 1:800.000 (en proyección UTM), también superponibles a los que se han generado de precipitaciones y caracteres.

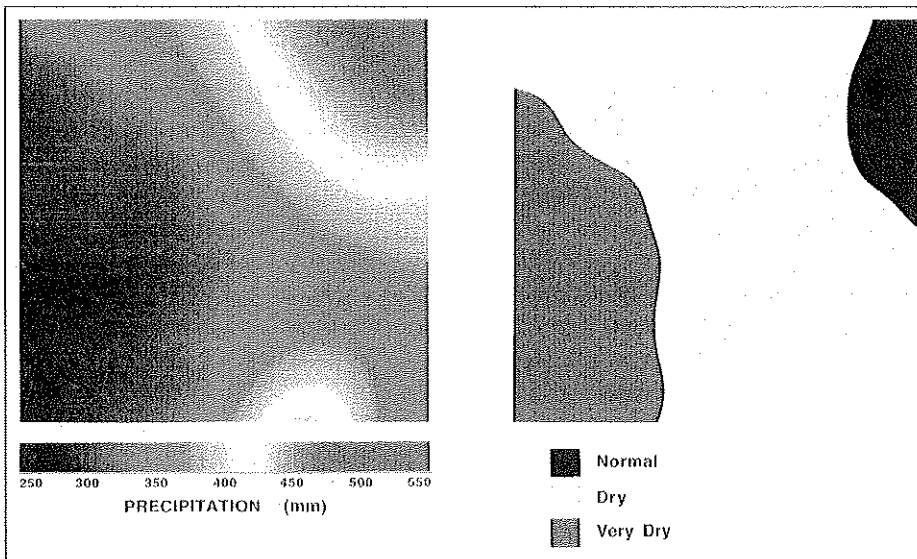


Figura 2

a) Imagen del mapa de lluvias generado a partir de los datos de las estaciones pluviométricas correspondiente a las precipitaciones acumuladas en el período otoño + invierno + primavera. b) Mapa del carácter de dichas precipitaciones. (A. 29)

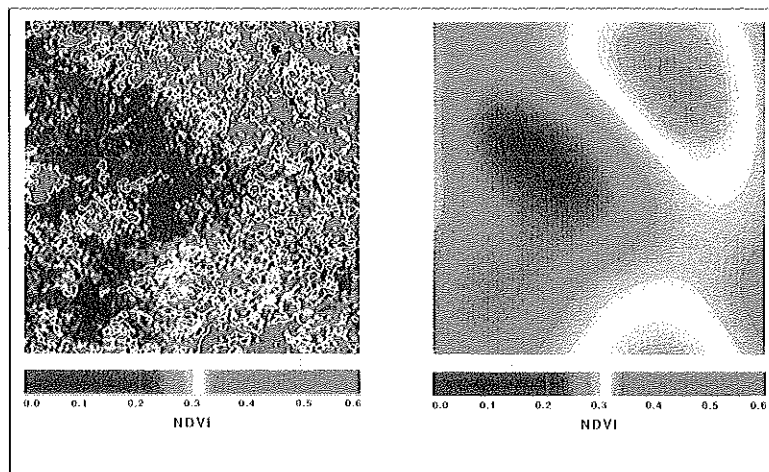


Imagen del NDVI de mayo de 1991. a) Imagen con resolución total.  
b) Imagen degradada espacialmente. (A. 30)

Al estar separadas las estaciones pluviométricas por una distancia media que se puede cifrar entre 15 y 20 km, la distribución espacial de las precipitaciones no se conoce con el mismo detalle que la distribución del NDVI (aproximadamente 1.1 x 1.1 km<sup>2</sup> en la escala nominal de NOAA). Por tanto, la correlación entre las imágenes de NDVI y precipitaciones tiene sentido a una escala de kilómetros. Por este motivo, las imágenes de índices de vegetación obtenidas inicialmente se han degradado espacialmente aplicando un filtro gaussiano sobre la escala de 20 km, utilizando técnicas de la transformada de Fourier. En la figura 3 se muestran las imágenes de los NDVI de mayo con resolución total y después de degradarla espacialmente.

Interesa correlacionar las precipitaciones con los NDVI correspondientes a las áreas en que la vegetación predominante sea la debida a los cultivos, tanto labores de secano como viñedos, predominantes en la región, y realizar por separado la comparación para las zonas preferentemente boscosas o que se refieran a superficies significativas de regadíos. Con este motivo, a partir de un estudio multitemporal de la evolución del NDVI entre marzo y junio, se han elaborado unas máscaras que se pueden aplicar a las imágenes y que permiten correlacionar independientemente las zonas anteriormente mencionadas. Las correlaciones obtenidas entre las imágenes se muestran en las figuras 4 y 5, considerando por una parte todo el conjunto de la imagen y por el otro las zonas que poseen diferente carácter según la precipitación registrada en ellas. Se presentan los resultados que se obtienen al considerar la imagen de NDVI sin degradar y degradada espacialmente. En la tabla 1 se muestran los coefi-



*El NDVI (AVHRR-HRPT) como determinante de la representatividad de las medidas de precipitación en la zona de EFEDA*

<i>a)</i>	<i>Toda la imagen</i>	<i>Muy Seco</i>	<i>Seco</i>	<i>Normal</i>
Nº de puntos	1.048.576	257.038	716.040	75.498
Pendiente	0,00065	-0,00025	0,00092	0,00021
Ord. en el origen	0,058	0,33	-0,042	0,26
R	0,54	-0,043	0,56	0,10
<i>b)</i>	<i>Toda la imagen</i>	<i>Muy Seco</i>	<i>Seco</i>	<i>Normal</i>
Nº de puntos	1.048.576	257.038	716.040	75.498
Pendiente	0,00041	-0,00014	0,00062	-0,000030
Ord. en el origen	0,14	0,31	0,066	0,33
R	0,82	-0,11	0,88	-0,068

Tabla 1

Valores numéricos de las correlaciones "imagen a imagen" entre el NDVI de mayo y la precipitación acumulada para toda la imagen y para las zonas de diferente carácter de las precipitaciones a) NDVI con resolución total b) NDVI degradado espacialmente

cientos de estos ajustes viéndose como éstos mejoran notablemente al considerar la imagen del NDVI degradada espacialmente.

### *Agradecimientos*

Los autores desean agradecer a la Unión Europea la financiación de este Proyecto. En particular J.C. Fortea es becario del mismo y J.A. Valiente lo fue durante el curso 91/92. También se agradece a las Secciones de Climatología de los Centros Meteorológicos Territoriales de Valencia y Badajoz las facilidades prestadas para la consecución de los datos pluviométricos.

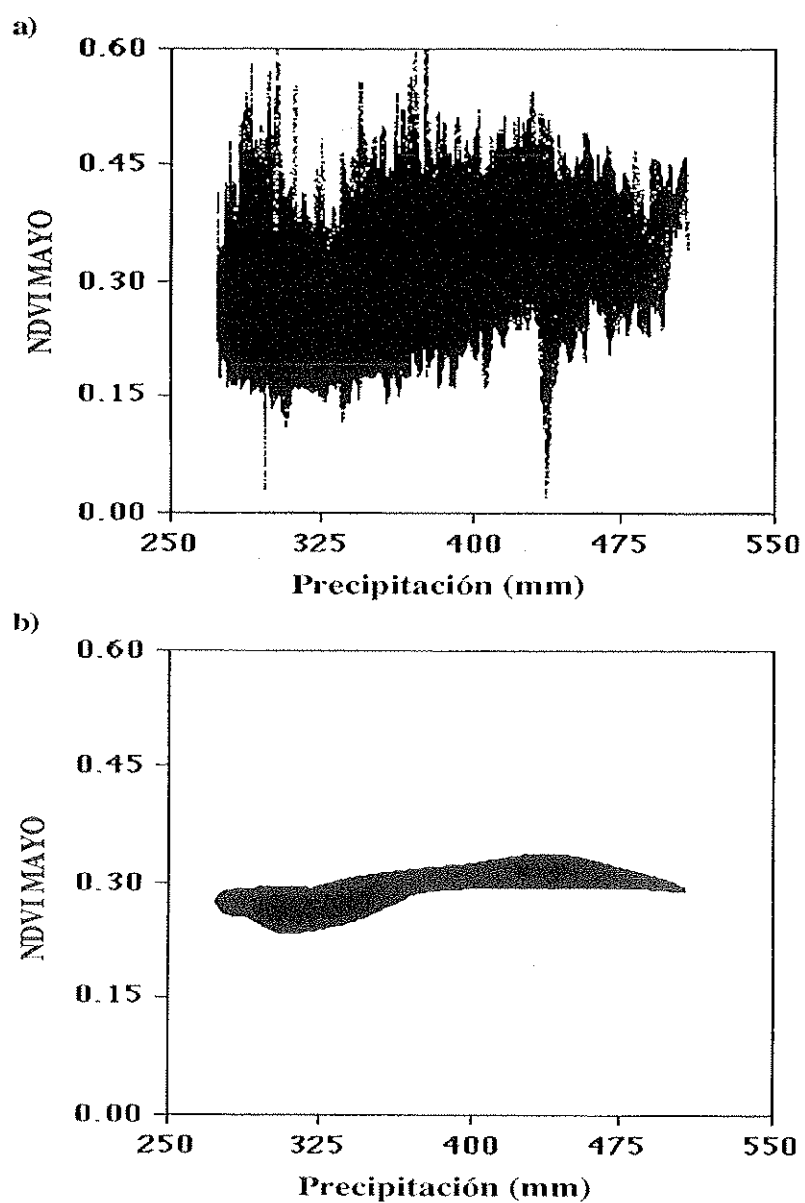


Figura 4  
Correlación "imagen a imagen" entre el NDVI de mayo de 1991 y las precipitaciones acumuladas en el período otoño + invierno + primavera anterior.  
a) NDVI con resolución total. b) NDVI degradado espacialmente

*El NDVI (AVHRR-HRPT) como determinante de la representatividad de las medidas de precipitación en la zona de EFEDA*

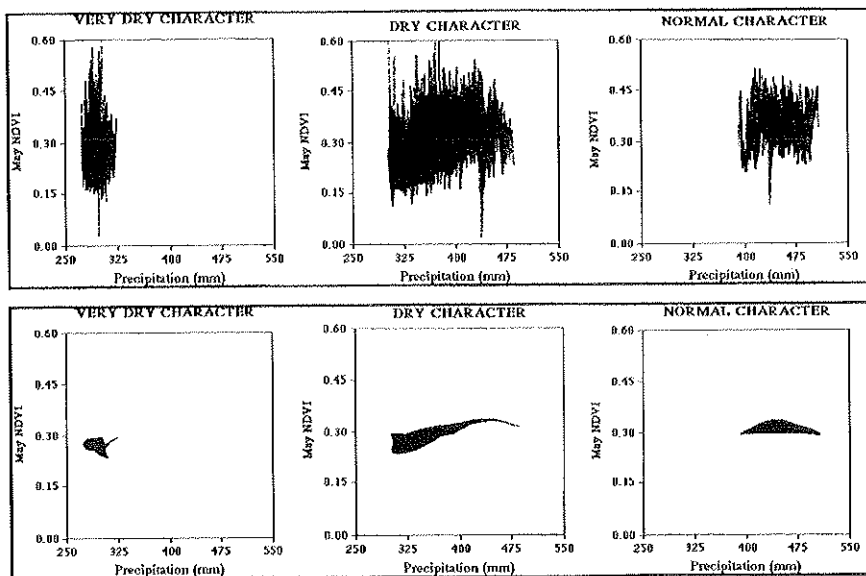


Figura 5

Parametrización de la correlación de acuerdo con el carácter de las precipitaciones. a) NDVI con resolución total. b) NDVI degradado espacialmente

### Referencias

- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E.T. and Hatfield, J.L.: 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.*, 76, 300-306.
- Beek, E.G.: 1991. Spatial interpolation of daily meteorological data. Agricultural Research Department. Report 53.1. Wageningen
- Goward, S.N., Markham, B., Dye, D.G., Dulaney, W. and Yang, J.: 1991. Normalized Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. *Remote Sens. Environ.*, 35, 257-277.
- Hielkema, J.U., Prince, S.D. and Astle, W.L.: 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna Zone of the Democratic Republic of Sudan using the NOAA AVHRR. *Int. J. Remote Sensing*, 7, 1499-1513.
- Holben, B.N.: 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, 7, 1417-1434.
- Holben, B.N., Kaufman, Y.J. and Kendall, J.D.: 1990. NOAA-11 AVHRR visible and near-IR inflight calibration. *Int. J. Remote Sensing*, 11, 1511-1519.
- Inversion, L.R., Cook, E.A. and Graham, R.L.: 1990. A technique for extrapolating and validating forest cover across large regions. Calibrating AVHRR data with TM data. *Int. J. Remote Sensing*, 10, 1805-1812.

- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N. and Tucker, C.J.:** 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *Int. J. Remote Sensing*, 6, 1721-1318.
- Kerr, Y.H., Imbernon, J., Dedieu, G., Hauteceur, O., Lagouarde, J.P. and Seguin, B.:** 1989. NOAA AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring. *Int. J. Remote Sensing*, 10, 847-854.
- López-Baeza, E., Meliá, J., Moreno, J., Segarra, D. and Tamayo, J.:** 1993. Parametrization of precipitation-NDVI correlations by means of the rainfall character. Application over the meteorological station network in the EFEDA area (Spain). *Int. J. of Hydrology*. (Submitted).
- Malingreau, J.P. and Tucker, C.J.:** 1988. Large-scale deforestation in the Southeastern Amazon basin of Brazil. *Ambio*, 17, 49-55.
- Moreno, J., López-Baeza, L., Meliá, J., Segarra, D. and Tamayo, J.:** 1992a. Correlation between NDVI values derived from NOAA AVHRR HRPT data and ground measurements of precipitation in the EFEDA study area (Spain). *Proceedings of the Central Symposium of the 'International Space Year'*. Munich.
- Moreno, J., Gandía, S. and Meliá, J.:** 1992b. Geometric integration of NOAA AVHRR and SPOT data: low resolution effective parameters from high resolution data. *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing*, 30, 1006-1014.
- Moreno, J. and Meliá, J.:** 1993. A Method for Accurate Geometric Correction of NOAA AVHRR HRPT Data. *IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing*, 31, 204-226.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. and Harlan, J.C.:** 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Type III, Final Report*. Greenbelt, MD.
- Smith, J.A., Woodcock, C.E. and Strahler, A.H.:** 1986. On the nature of models in remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, 20, 121-139.
- Tamayo, J.:** 1994. Tesis doctoral. En preparación.
- Tamayo, J., López-Baeza, E., Meliá, J., Moreno, J. and Segarra, D.:** 1992. Character of Winter and Spring rainfall during 1991 in the EFEDA study area (Spain) and its relation to AVHRR NDVI values. *XVII European Geophysical Society meeting*. Edinburgh, April 1992.
- Tucker, C.J., Vanpraet, C.L., Sharman, M.J. and Van Ittersum, G.K.:** 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous matter production in the Senegalese Sahel: 1980-1984. *Remote Sens. Environ.*, 17, 233-249.
- Tanré, D., Deroo, C., Dubaut, P., Herman, M., Morcrette, J.J., Perboos, J. and Deschamps P.Y.:** 1990. Technical note. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. *Int. J. Remote Sensing*, 11, no. 4, 659-668.