

## Estudio de la evolución del NDVI en tierra de campos

*J.A. Delgado, P. Illera y P. Rodríguez*

Departamento de Física Aplicada I  
Universidad de Valladolid

### RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de los cultivos cerealistas en la comarca de Tierra de Campos utilizando el NDVI/AVHRR. El tratamiento previo de calibrado, detección de cubierta nubosa y registro de la imagen en proyección UTM nos permite calcular la media del NDVI correspondiente a cada municipio de la zona de estudio. Posteriormente se construyen las curvas de evolución temporal del índice, a partir de las cuales se procede a un primer análisis de la evolución de los cultivos. Por último, para poner a punto un método de predicción de cosechas, se estudia la relación existente entre la integral del NDVI a lo largo de cada campaña agrícola y los datos de cosechas de trigo y cebada.

### ABSTRACT

The aim of this work is monitoring cereal crops in the area known as Tierra de Campos by using the temporal evolution of NDVI/AVHRR. The preprocessing of calibration, cloud detection and image georeferencing to an UTM projection, allows us to calculate the average value of the NDVI in each township. The temporal evolution of this index is used to analyse the crops present in the area. Finally, an integration of the NDVI data over the reproductive phase is performed in the different townships and the relation between this integral and ground based crop and barley yields estimates is studied.

### Introducción

La comarca de Tierra de Campos se localiza en la zona central de Castilla y León, con una extensión aproximada de 948.500 ha. Abarca el centro de la provincia de Palencia, el norte de Valladolid, el sureste de León y el noroeste de Zamora. Los ríos Esla y Carrión la delimitan al oeste y este respectivamente y la zona sur se sitúa por encima del río Duero, pero sin alcanzar su área de regadío salvo la punta sur de la provincia de Zamora, finalmente los ríos Cea, Valderaduey y Pisuerga y los canales de Campos y de Castilla la atraviesan.

El uso fundamental del suelo es de secano en labor intensiva (56% de la superficie total) salvo los municipios que tocan con alguno de los ríos o canales anteriormente mencionados que supone un 9% de suelo en cultivos de regadío, finalmente un 2.3% de suelo tiene cubierta forestal (fundamentalmente encina y pino).

La FIGURA 1 conjuntamente con la TABLA I permite reconocer la localización de los municipios pertenecientes a la comarca de Tierra de Campos (la IMAGEN 1 muestra los municipios en la imagen de NDVI en agosto de 1993).

Al disponer en nuestro laboratorio de trabajo un sistema de adquisición automática de imágenes NOAA en la transmisión HRPT nos hemos planteado el seguimiento de la cubierta vegetal, mediante el índice de vegetación NDVI/ AVHRR (Malingreau y Belward, 1989), en la zona de estudio escogida y su aplicación para la predicción de rendimientos en las cosechas de cereal (trigo + cebada).

Los satélites NOAA permiten disponer de al menos un par de imágenes con luz solar para el cálculo del NDVI con una resolución espacial para los puntos del nadir de 1,2 km<sup>2</sup>. En definitiva podremos disponer de series temporales del NDVI de la región de estudio a muy bajo coste debido al carácter gratuito de las transmisiones NOAA/HRPT.

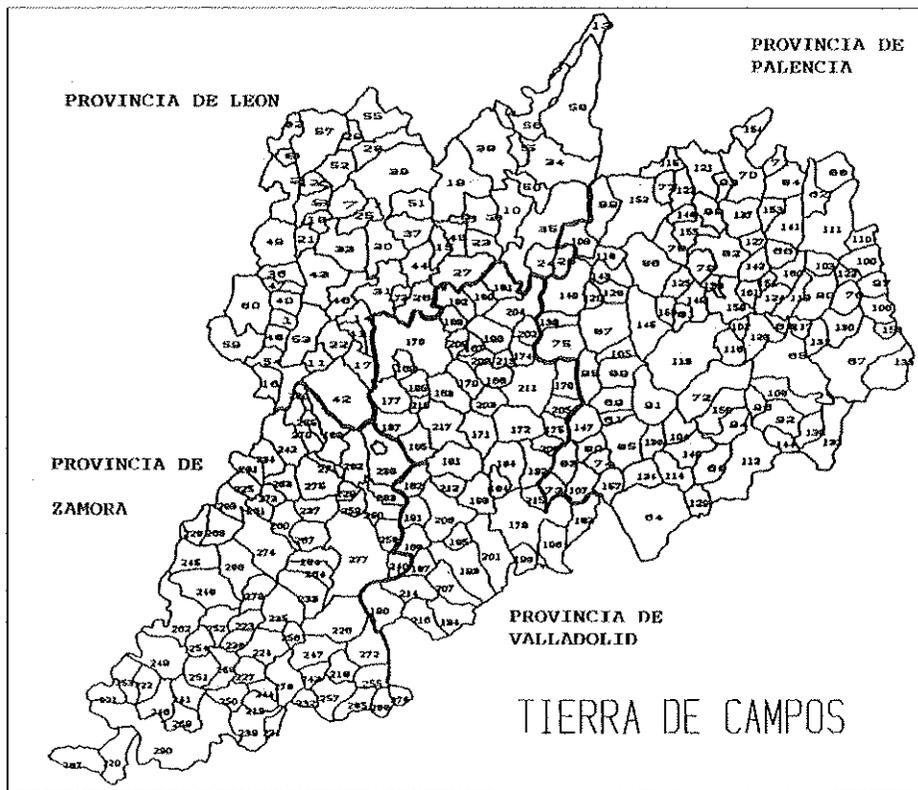


FIGURA 1

Municipios de la comarca de Tierra de Campos. El número asignado a cada municipio permite a través de la TABLA I reconocer el nombre

Estudio de la evolución del NDVI en tierra de campos

PROVINCIA DE LEÓN:

- 1 ALGADEFE
- 2 ARDON
- 3 BERCIANOS DEL REAL CAMINO
- 9 CABREROS DEL RÍO
- 10 CALZADA DEL COTO
- 11 CAMPAZAS
- 12 CAMPO DE VILLAVIEL
- 13 CASA FORESTAL
- 14 CASTILFALE
- 15 CASTROTERRA DE VALMADRIGAL
- 16 CIBANES DE LA VEGA
- 17 GORDONCILLO
- 18 CUBILLAS DE LOS OTEROS
- 19 EL BÚRGO RANERO
- 20 ESCOBAR DE CAMPOS
- 21 FRESNO DE LA VEGA
- 22 FUENTES DE CARBAJAL
- 23 GORDALIZA DEL PINO
- 24 GRANJAL DE CAMPOY
- 25 GUSENDO DE LOS OTEROS
- 26 IZAGRE
- 27 JUARILLA DE LAS MATAS
- 28 MANSILLA DE LAS MATAS
- 29 MANSILLA MAYOR
- 30 MATADÉON DE LOS OTEROS
- 31 MATANZA
- 32 ONZOMILLA
- 33 PAJARES DE LOS OTEROS
- 34 SALICES DEL RÍO
- 35 SAHAGÚN
- 36 SAN MELLÁN DE LOS CABALLEROS
- 37 SANTA CRISTINA DE VALMADRIGAL
- 38 SANTA MARÍA DEL MONTE DE CEA
- 39 SANTAS MARTAS
- 40 TORAL DE LOS GUZMANES
- 41 VALDEMORA
- 42 VALDERAS
- 43 VALENCIA DE DON JUAN
- 44 VALVERDE-ENRIQUE
- 45 VALLECILLO
- 46 VILLABRAZ
- 47 VILLADEMOR DE LA VEGA
- 48 VILLALHANAOS
- 49 VILLAMAÑÁN
- 50 VILLAMOL
- 51 VILLANORATIFEL DE LAS MATAS
- 52 VILLANUEVA DE LAS MANZANAS
- 53 VILLAGORNATE Y CASTRO
- 54 VILLAQÜERDA
- 55 VILLASABARIEGO
- 56 VILLASELAN
- 57 VILLATORIEL
- 58 VILLAZANZO DE VALDERADUEY
- 59 LA ANTIQUA
- 60 LAGUNA DE NEGRILLOS

PROVINCIA DE PALENCIA:

- 61 ABARCA
- 62 ABIA DE LAS TORRES
- 63 ANAYUELAS DE ARRIBA
- 64 ANSÚDIA
- 65 ANSÚCO
- 66 ARCONADA
- 67 ASTUDILLO
- 68 AUILLA DEL PINO
- 69 AUILLO DE CAMPOS
- 70 BAHILLO
- 71 BARCENA DE CAMPOS
- 72 BECERRIL DE CAMPOS
- 73 BELMÓNTE DE CAMPOS
- 74 BOADA DE CAMPOS
- 75 BOADILLA DE ROSECO
- 76 BOADILLA DEL CAMINO
- 77 BUSTILLO DE LA VEGA
- 78 BUSTILLO DEL PÁRAMO
- 79 CALZADA DE LOS MOLINOS
- 80 CAPILLAS
- 81 CARDEOSA DE VOLPEJERA
- 82 CARRIÓN DE LOS CONDES
- 83 CASTIL DE VELA
- 84 CASTRILLO DE VILLAVEGA
- 85 CASTROMOCHO
- 86 CERVAJOS DE LA CUEZA
- 87 CISNEROS
- 88 ESPINOSA DE VILLAGONZALO
- 89 FRECHILLA
- 90 FROMISTA
- 91 FUENTES DE NAVA
- 92 FUENTES DE VALDEPERO
- 93 GOZÓN DE UCIEZA
- 94 GRUJOTA
- 95 GUAJA DE CAMPOS
- 96 HUSILLAS
- 97 HERO DE LA VEGA
- 98 LA SERNA

- 99 LAGARTOS
- 100 LANFADILLA
- 101 LOMAS
- 102 MARQUILLOS
- 103 MARCHILLA DE CAMPOS
- 104 MAZARIEGOS
- 105 MAZARIEGOS DE VALDEINATE
- 106 MELGAR DE YUSO
- 107 MENESES DE CAMPOS
- 108 MONZÓN DE CAMPOS
- 109 MORATINOS
- 110 OSORNILLO
- 111 OSORNO
- 112 PALENCIA
- 113 PAREDES DE NAVA
- 114 PEDRAZA DE CAMPOS
- 115 PEDROSA DE LA VEGA
- 116 PERALES
- 117 PINA DE CAMPOS
- 118 POBLACIÓN DE ARROYO
- 119 POBLACIÓN DE CAMPOS
- 120 POZO DE URAMA
- 121 QUINTANILLA DE ONSOÑA
- 122 RIBERO DE LA VEGA
- 123 REQUEÑA DE CAMPOS
- 124 REVENGA DE CAMPOS
- 125 RÍBEROS DE LA CUEZA
- 126 SAN CEBRIÁN DE CAMPOS
- 127 SAN JAMES DE CAMPOS
- 128 SAN ROMÁN DE LA CUBA
- 129 SANTA CECILIA DEL ALCOR
- 130 SANTOYO
- 131 TAMARA
- 132 TORQUEMADA
- 133 TORRE DE LOS MOLINOS
- 134 TORREMORMOJÓN
- 135 VALBUENA DE PISUERGA
- 136 VALDEOLMILLOS
- 137 VAL DE UCIEZA
- 138 VAL OBERÍN DE CAMPOS
- 139 VILLACIUDADER
- 140 VILLADA
- 141 VILLAHERREROS
- 142 VILLALCAZAR DE SIRGA
- 143 VILLALCÓN
- 144 VILLALOBÓN
- 145 VILLALUMBROSO
- 146 VILLAMARTÍN DE CAMPOS
- 147 VILLAMERIEL
- 148 VILLAMORONTA
- 149 VILLANUEVA DE LA CUEZA
- 150 VILLANUEVA DEL REBOLLAR
- 151 VILLARMENTERO DE CAMPOS
- 152 VILLARRABE
- 153 VILLASARRACINO
- 154 VILLASOLA DE VALDAVIA
- 155 VILLATURDE
- 156 VILLAUUMBRALES
- 157 VILLERIAS
- 158 VILLODRE
- 159 VILLOLDO
- 160 VILLOVIECO

PROVINCIA DE VALLADOLID:

- 161 AGUILAR DE CAMPOS
- 162 BARCHAL DE LA LOMA
- 163 BECILLA DE VALDERADUEY
- 164 BERRUECOS
- 165 BOLAÑOS DE CAMPOS
- 166 BUSTILLO DE CHAVES
- 167 CABEZÓN DE VALDERADUEY
- 168 CARREROS DEL MONTE
- 169 CASTROBOL
- 170 CASTROPONCE
- 171 CEINOS DE CAMPOS
- 172 CUENCA DE CAMPOS
- 173 DEHESA DE SAN LLORENTE
- 174 FORTIQUYUELO
- 175 GATÓN DE CAMPOS
- 176 HERRÍN DE CAMPOS
- 177 LA UNIÓN DE CAMPOS
- 178 MAYORGA
- 179 MEDINA DE ROSECO
- 180 MELGAR DE ARRIBA
- 181 MELGAR DE ARRIBA
- 182 MONASTERIO DE VEGA
- 183 MONTEALLEGRE
- 184 MORAL DE LA REINA
- 185 MORALES DE CAMPOS
- 186 PALAZUELOS DE VEDIA
- 187 POZUELO DE LA ORDEN
- 188 ROALES DE CAMPOS
- 189 SAHELICES DE MAYORGA
- 190 SAN PEDRO DE LATAUCE
- 191 SANTA EUFEMIA DEL ARROYO
- 192 TAMARIZ DE CAMPOS

- 193 TORDUEMOS
- 194 UREÑA
- 195 URONES DE CASTROPONCE
- 196 VALDENEBRO DE LOS VALLES
- 197 VALDURQUILLU
- 198 VALVERDE DE CAMPOS
- 199 VEGA DE RUIPONCE
- 200 VILLABARAZ DE CAMPOS
- 201 VILLABRAGIMA
- 202 VILLACARRALÓN
- 203 VILLACID DE CAMPOS
- 204 VILLACRICES
- 205 VILLAFRADES DE CAMPO
- 206 VILLAFRECHOS
- 207 VILLAGARCÍA DE CAMPOS
- 208 VILLAGÓMEZ DE LA NUEVA
- 209 VILLALBA DE LA LOMA
- 210 VILLALGAR
- 211 VILLALÓN DE CAMPOS
- 212 VILLAMURIEL DE CAMPOS
- 213 VILLANUEVA DE LA CONDESA
- 214 VILLANUEVA DE LOS CABALLEROS
- 215 VILLANUEVA DE SAN MANCIÑO
- 216 VILLARDEFRADES
- 217 VILLAVICENCIO DE CABALLE

PROVINCIA DE ZAMORA:

- 218 AREZAMES
- 219 ALGODRE
- 220 ALMARAZ DE DUERO
- 221 ALMENDRA
- 222 ANDAVÍAS
- 223 ARQUELINDOS
- 224 ASPAREGOS
- 225 BARCHAL DEL BARCO
- 226 BELVER DE LOS MONTES
- 227 BENEGLIES
- 228 BRETO DE LA RIBERA
- 233 CÁMIZO
- 234 CASTROGONZALO
- 235 CASTRONIEVO
- 236 CASTROVERDE DE CAMPOS
- 237 CERECINOS DEL CAMPO
- 238 CERECINOS DEL CARRIZAL
- 239 CORRESE
- 240 COTAMES DEL MONTE
- 241 CUBILLOS
- 242 FUENTES DEL ROPEL
- 243 FUENTESECAS
- 244 GALLOS DEL PAN
- 245 GRANJA DE MOREUELA
- 246 LA PANIESTA
- 247 MALVA
- 248 MANGANESES DE LA LAMPRENA
- 249 MATAMARTA
- 250 MOLACILLOS
- 251 MOREUELA DE LOS INFANZONES
- 252 PAJARES DE LAMPRENA
- 253 PALACIOS DEL PAN
- 254 PIEDRAHITA DE CASTROS
- 255 PINILLA DE TORO
- 256 POBLADORA DEL REY
- 257 POZOANTIGUO
- 258 QUINTANILLA DEL MONTE
- 259 QUINTANILLA DEL OLMO
- 260 REVELLÍNOS DE CAMPOS
- 261 SAN AGUSTÍN DEL POZO
- 262 SAN CEBRIÁN DE CASTRO
- 263 SAN ESTEBAN DEL MOLAR
- 264 SAN MARTÍN DE VALDERADUEY
- 265 SAN MIGUEL DEL VALLE
- 266 SANTOVEDIA DEL ESILA
- 267 TAPALES
- 268 TORRES DEL CARRIZAL
- 269 VALCABADO
- 270 VALDESCORRIEL
- 271 VEGA DE VILLALOBOS
- 272 VEZDERMAN
- 273 VIDA Y ANEY
- 274 VILLAFILIA
- 275 VILLALOBOS
- 276 VILLALONSO
- 277 VILLALPANDO
- 278 VILLALUBE
- 279 VILLALVA DE LAMPRENA
- 280 VILLAMAYOR DE CAMPOS
- 281 VILLANUEVA DE AZOAGÜE
- 282 VILLARBUENA DEL CAMPO
- 283 VILLAR DE PALAVES
- 284 VILLARDIGA
- 285 VILLARDONDIEGO
- 286 VILLARÍN DE CAMPOS
- 287 VILLASCO
- 288 VILLAVENDIMIO
- 289 VILLAVEJA DEL AGUA
- 290 ZAMORA

Tabla I  
Relación de municipios de Tierra de Campos

### ***Elaboración de series temporales NDVI***

A partir del año 1992 hemos comenzado a elaborar, con las imágenes captadas en nuestro laboratorio, la serie temporal de NDVI para Tierra de Campos.

Tras la recepción de la imagen se elabora el índice de vegetación  $NDVI = (R_2 - R_1) / (R_2 + R_1)$  a partir de las radiancias,  $R_1$  y  $R_2$ , de los dos primeros canales (visible e infrarrojo próximo) teniendo en cuenta la degradación del sensor con el tiempo. Con el fin de reducir la dependencia de la serie construida con el ángulo cenital solar hemos optado trabajar con las imágenes captadas de la Península en el paso ascendente del satélite NOAA-11, ya que debido a tener una órbita heliosíncrona se produce aproximadamente a la misma hora solar (14-15 GMT).

El siguiente paso en la preparación de la serie es la eliminación de zonas contaminadas por nubes en la imagen del índice de vegetación. Dentro de los posibles métodos existentes en el análisis de nubes seguiremos uno de los más sencillos, rápidos y eficaces para el reconocimiento de superficies sin nubes basado en la búsqueda de umbrales en los canales visible, infrarrojo térmico y en la propia imagen del NDVI.

Obtenida la imagen NDVI sin nubes procedemos a corregirla geográficamente mediante un modelo orbital mejorado con puntos de control (Illera P. et al., 1993) y obtener en proyección UTM la zona de estudio.

Teniendo en cuenta la dependencia del NDVI con el ángulo de visión del satélite, la posición del sol y la transparencia atmosférica (fundamentalmente contenido de vapor) (A.R. Huete et al, 1992) (C.O. Justice et al, 1991) la curva de evolución de NDVI para toda la serie de imágenes procesadas presentará apreciables fluctuaciones dentro de los cambios debidos a la evolución de cubierta vegetal observada. Para suavizar dichos efectos hemos optado por componer imágenes dentro de intervalos de aproximadamente 10 días. La composición se realiza con los siguientes criterios:

- 1) Las imágenes utilizables deben de tener un ángulo de visión del sensor menor que 30° respecto a la zona de estudio.
- 2) Si tenemos:
  - Un solo día con la superficie de estudio despejada más del 70%:  
tomando como referencia dicho día se completan los posibles huecos con días próximos.
  - Varios días con más del 70% despejado:

tomando como referencia el día de NDVI máximo se completan los huecos con los valores máximos del resto de los días.

– Ningún día con más del 70% despejado:

1.- Posibilidad con el conjunto de componer una imagen con más del 70% despejado. Se aplica la técnica de MVC (Holben, 1986) para componer.

2.- Se deja un hueco en la serie.

El objetivo final del criterio es mantener, con la mínima perturbación en la medida de NDVI, lo máximo posible la homogeneidad en las condiciones de medida y por consiguiente la posibilidad de comparación entre diferentes píxeles dentro de las imágenes compuestas. La IMAGEN 1 corresponde a la imagen de agosto preparada para la integración en la serie.

Finalmente se calcula el valor media del NDVI para cada municipio y se obtienen la serie temporal de NDVI para cada municipio.

### ***Análisis de las series temporales de NDVI***

En las FIGURAS 2 y 3 podemos ver ejemplos de la evolución del NDVI para diferentes municipios de Tierra de Campos. La casi totalidad de los municipios presentan una evolución similar, partiendo de un mínimo entorno al mes de noviembre el índice comienza a aumentar moderadamente para en marzo tener un crecimiento más acusado y en abril llegar al máximo, nuevamente tenemos una fuerte pendiente en la caída del índice hasta julio en que se modera la disminución. En general la evolución está acorde con las etapas de desarrollo de cultivos cerealistas de secano. Sin embargo tenemos municipios como los mostrados en la FIGURA 4 con evoluciones diferentes, por ejemplo alcanzan el máximo en el meses de julio o una vez alcanzado el máximo no tiene una fuerte caída y se mantiene en valores altos hasta el otoño, en general corresponden a municipios con predominio de otro tipo de cultivo (posibles áreas de regadío, terreno no productivo o de cubierta forestal).

La serie temporal de imágenes permite realizar análisis puntuales (2x2 píxeles) en la evolución del NDVI. Como ejemplo presentamos las figuras 5 y 6. En un rastreo lineal (fijamos la columna y variamos la fila) vemos, en la FIGURA 5, la variación espacial del NDVI para diferentes épocas del año, la FIGURA 6 muestra la variación temporal para un punto de la línea. Este primer ejemplo corresponde al municipio de Aguilar de Campos (Valladolid), que se puede considerar un municipio tipo de Tierra de Campos con un uso casi exclusivo de secano cerealista. El siguiente ejemplo, Figuras 7 y 8 permiten observar como en un rastreo en el término municipal de Villalpando (Zamora) se observa una zona con valores de NDVI con muy poca

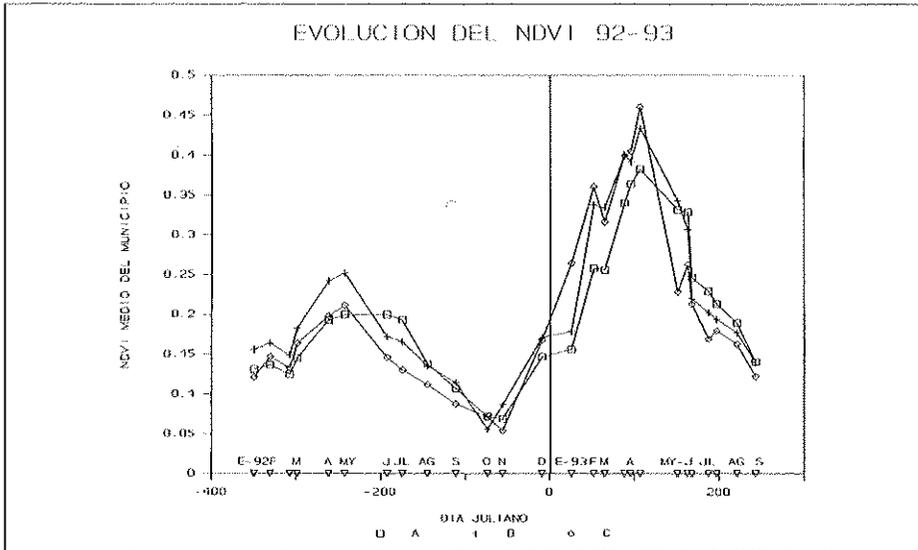


FIGURA 2  
Evolución del valor medio de NDVI para los municipios:  
A) Aguilar de Campos (Valladolid), B) Villanueva del Campo (Zamora),  
C) Fuentesecas (Zamora)

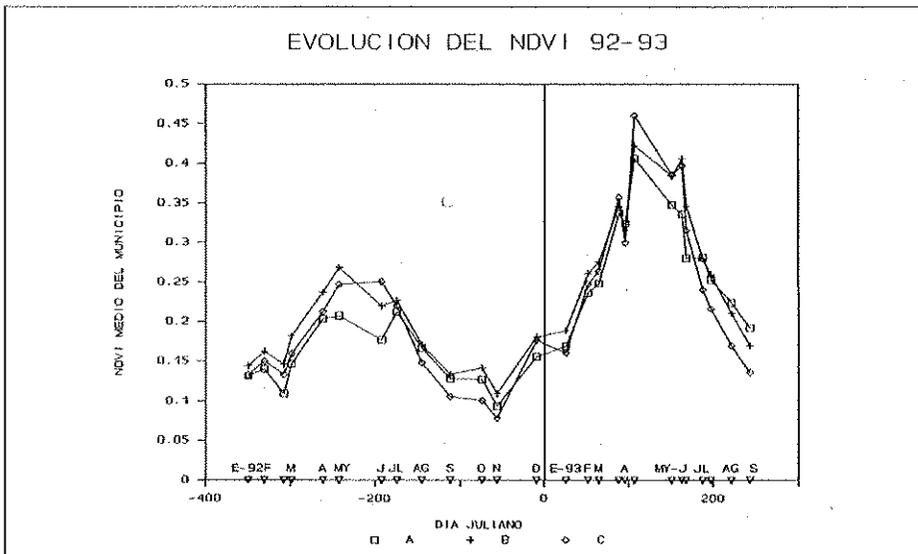


FIGURA 3  
Evolución del valor medio de NDVI para los municipios:  
A) Paredes de Nava (Palencia), B) Sahagún (León), C) Escobar de Campos (León)

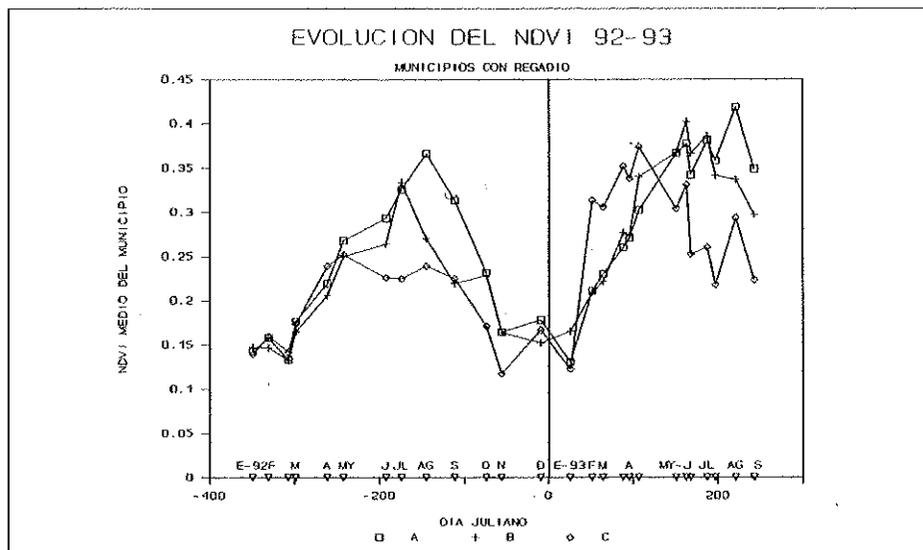


FIGURA 4

Evolución del valor medio de NDVI para los municipios:

A) Fresno de la Vega (León), B) Villoldo (Palencia), C) Fuentes de Ropel (Zamora)

variación estacional salvo una pequeña caída en agosto, en una comprobación sobre mapas de usos del suelo encontramos que en dicha zona se localiza un encinar. La Imagen 2 podemos ver en detalle la evolución del NDVI en dicho municipio y la existencia del encinar en el sur del municipio.

#### Aplicación de las series en estima de rendimientos

Una de las aplicaciones de las series de NDVI es la estimación del rendimiento final de la cosecha mediante la dependencia con la integral del índice en el período de desarrollo y maduración del cultivo (R. Benedetti and P. Rossini, 1993).

Para la búsqueda de la relación lineal hemos tomado el año 1990. Los datos de rendimiento de cereal (trigo + cebada) nos han sido suministrados por la Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León.

El resultado final obtenido se refleja en la FIGURA 9, la dependencia lineal obtenida es:

$$\text{RENDIMIENTO (kg/ha)} = 55 + 0.5 \text{ INTEGRALNDVI}$$

Coefficiente de correlación: 0.95

donde la integral se ha calculado en el intervalo de abril (máximo de NDVI) a ju-

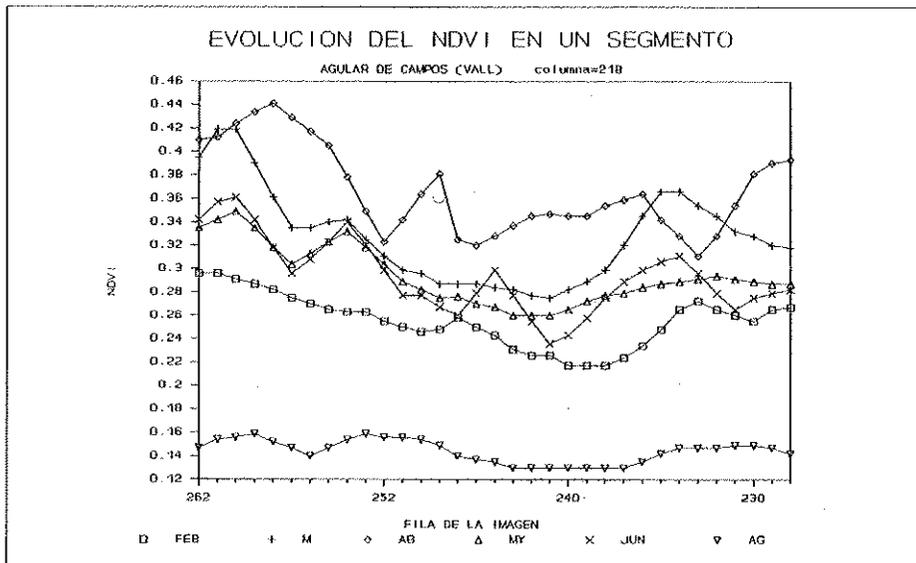


FIGURA 5  
Estudio local (medias de NDVI para 2x2 píxeles) para un segmento en el municipio de Aguilar de Campos (VA)

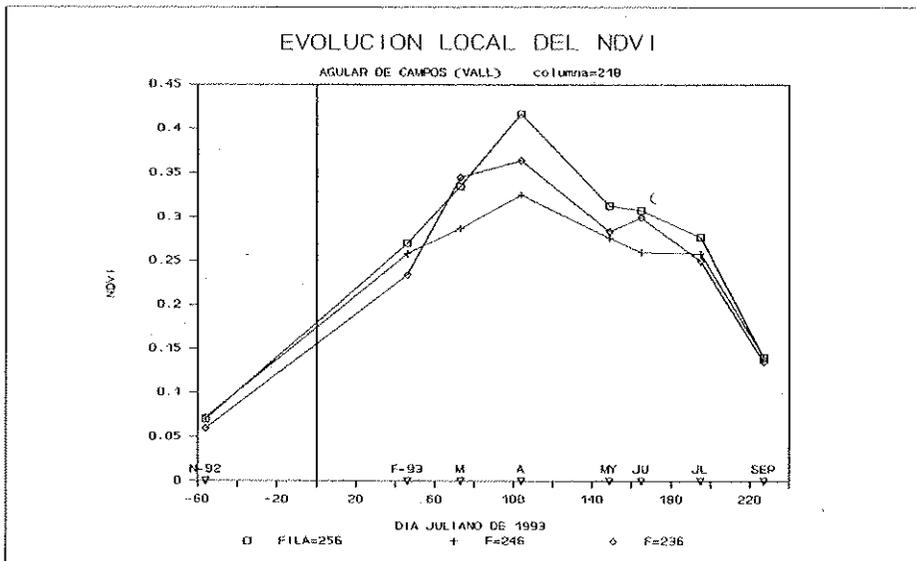


FIGURA 6  
Para puntos de la FIGURA 5, evolución temporal. Corresponde a una evolución tipo para cultivos de cereal en secano

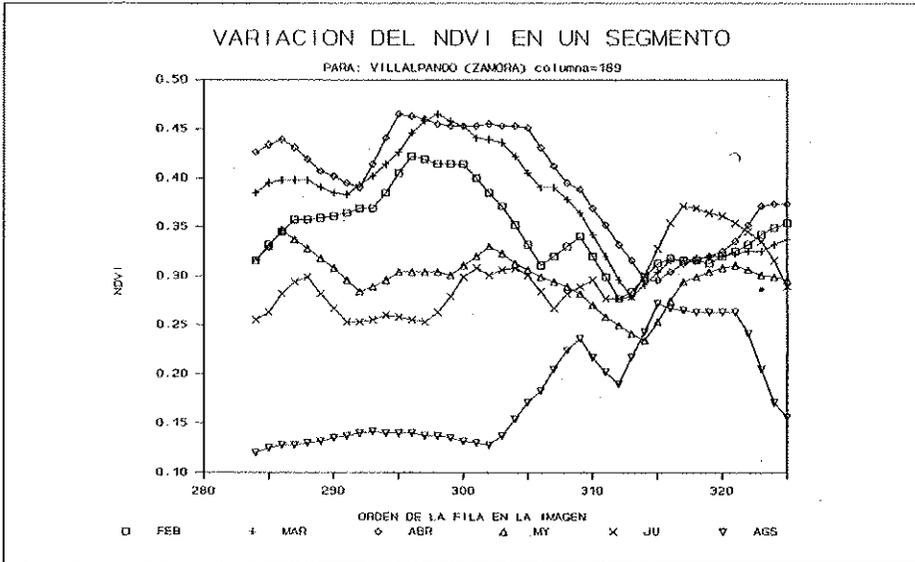


FIGURA 7

Estudio local (medias de NDVI para 2x2 píxeles) para un segmento en el municipio de Villalpando (ZA). Se puede apreciar un tramo del segmento con valores de NDVI muy similares para las diferentes fechas representadas. La IMAGEN 2 permite ver con detalle la evolución del NDVI en el municipio

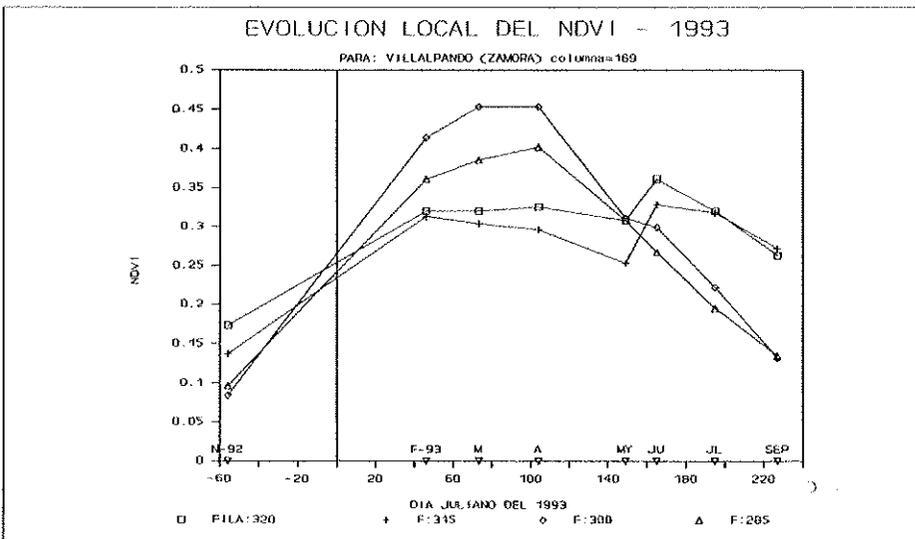


FIGURA 8

Para puntos de la FIGURA 7, evolución temporal

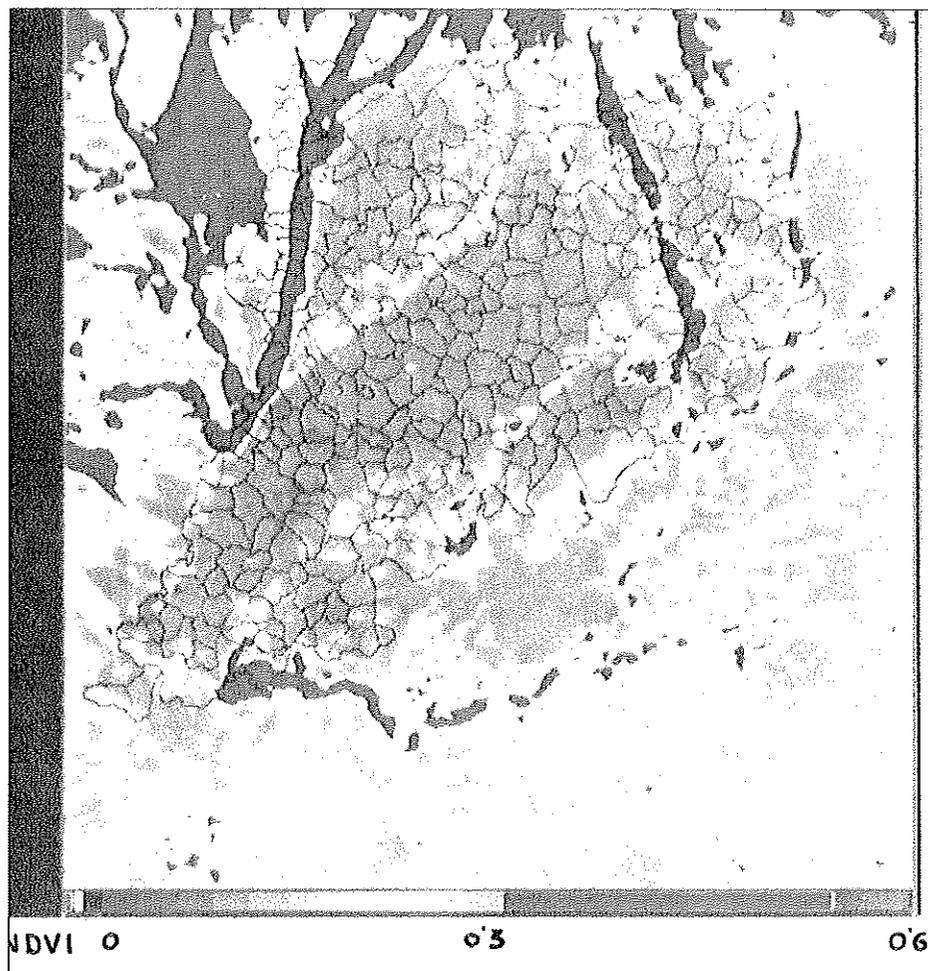


IMAGEN 1

Imagen procesada para la integración en la serie evolutiva del NDVI.  
Corresponde a la fecha del 31 de agosto de 1993. Se han superpuesto los límites  
municipales para Tierra de Campos. (A. 65)

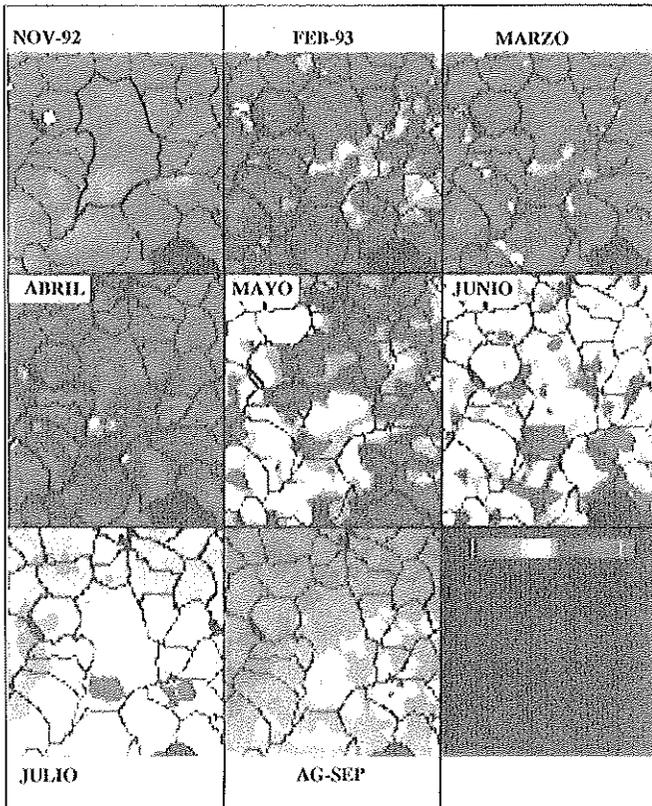


IMAGEN 2

Evolución del NDVI para el municipio de Villalpando. (A. 66)

lio y tomando como NDVI su valor normalizado entre 4 y 255 DN del rango inicial de -0.05 y 0.6.

Aplicado el ajuste obtenido a la integral de 1993 se estima el rendimiento para dicho año. El resultado final se muestra en la TABLA 2 donde comparamos los datos predichos mediante el satélite y la encuesta realizada por la Junta de Castilla y León. Los resultados se pueden considerar satisfactorios ya que en 47.3% de los casos comparados la diferencia entre la estimación de satélite y la medida de suelo es menor del 10%, en 42.1% de los casos la diferencia está entre el 10-20% y solamente en 10% de los casos la diferencia es mayor del 20%. En los casos con mayor error, consultando las curvas de evolución del NDVI y los mapas de usos de suelo se confirma que son municipios con cultivos de regadío. Como ejemplo presentamos el caso de Marcilla de Campos (ver FIGURAS 10 y 11) cuya diferencia satélite y suelo es de 50%.

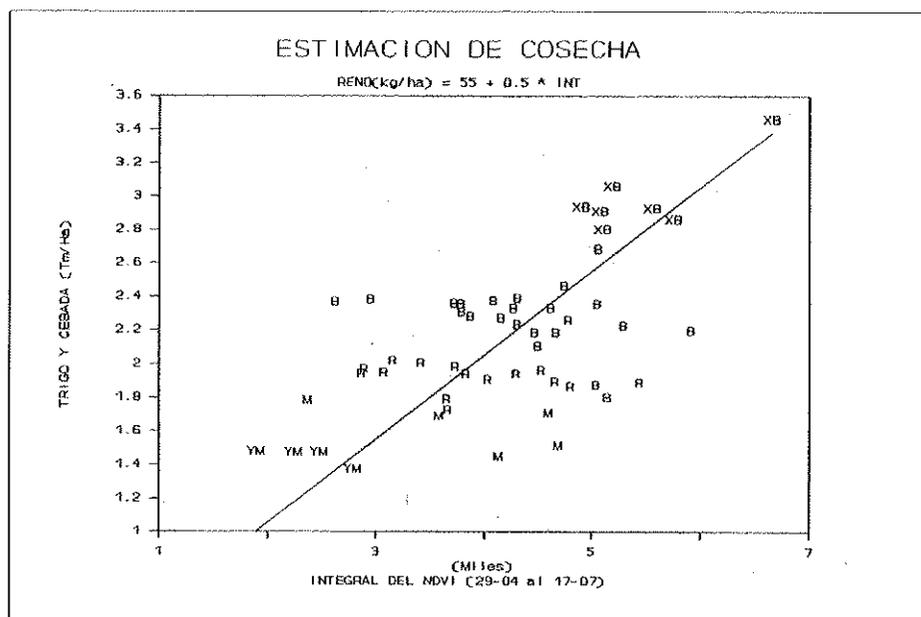


FIGURA 9

Relación y ajuste lineal de la integral de NDVI y el rendimiento de cereal en diferentes municipios para la campaña 89/90. Los municipios se representan por los símbolos XB, B, M, R, XM en función de la clasificación del suelo (suministrada por la Junta de Castilla y León) de muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo respectivamente

TÉRMINOS MUNICIPALES ENCUESTADOS	RENDIMIENTO		DIFERENCIA		INCREMENT.
	encuesta Junta CyL kg/ha	satélite NOAA kg/ha	RENDIMIEN. (sat-encu) kg/ha	%	RENDIM. 93 / 90 %
<b>provincia de LEÓN:</b>					
CASTROTIERRA DE VALMADRIGAL	3400	4200	800	24	112
ESCOBAR DE CAMPOS	3600	5100	1500	42	51
FUENTES DE CARBAJAL	4100	4500	400	10	131
GORDALIZA DEL PINO	3600	4200	600	17	98
JUARILLA DE LAS MATAS	4100	4200	100	2	61
SANTAS MARTAS	3900	3700	-200	-5	61
VALDEMORA	4300	4300	0	0	95
VALENCIA DE DON JUAN	4000	3900	-100	-3	156
VALLECILLO	3600	4100	500	14	73
VALVERDE-ENRIQUE	3800	4400	600	16	128

*Estudio de la evolución del NDVI en tierra de campos*

VILLABRAZ	4000	3800	-200	-5	72
VILLAMOL	4300	4300	0	0	54
VILLASELAN	4000	4000	0	0	68

**provincia de PALENCIA**

AMPUDIA	3500	4100	600	17	40
AMUSCO	4000	3900	-100	-3	33
BAQUERIN DE CAMPOS	2800	3100	300	11	-24
BECERRIL DE CAMPOS	3500	3600	100	3	11
BELMONTE DE CAMPOS	3200	2600	-600	-19	-21
CARRIÓN DE LOS CONDES	4500	4400	-100	-2	9
CASTROMOCHO	3500	3700	200	6	-14
CISNEROS	4000	4600	600	15	12
FROMISTA	4300	4300	0	0	22
FUENTES DE NAVA	3500	4100	600	17	-1
GRIJOTA	3100	2500	-600	-19	14
MARCILLA DE CAMPOS	3800	5700	1900	50	12
MELGAR DE YUSO	3600	3500	-100	-3	39
MONZÓN DE CAMPOS	3800	3500	-300	-8	50
OSORNO	4800	4400	-400	-8	-4
PAREDES DE NAVA	3800	4200	400	11	14
PERALES	3500	3100	-400	-11	-7
POBLACIÓN DE ARROYO	4300	4800	500	12	24
POBLACIÓN DE CAMPOS	4100	4600	500	12	23
REVENGA DE CAMPOS	3800	4500	700	18	8
TORREMORMOJON	3100	3400	300	10	-5
VILLAMARTÍN DE CAMPOS	2800	2800	0	0	-22
VILLANUEVA DEL REBOLLAR	4100	5000	900	22	10
VILLAUMBRALES	3500	3100	-400	-11	9
VILLOVIECO	4400	5000	600	14	15

COSECHA .....	268.570 Tm	Official Data Junta Castilla y León
en los municipios comparados de Palencia	281.810 Tm	Estimados basada con el satélite NOAA
diferencia.....	4.8 %	

FIGURA 10

Evolución del NDVI para el municipio (A) Marcilla de Campos (PA) y dos colindantes: (B) Osorno y (C) Villovieco. Es apreciable como el municipio de Marcilla alcanza un valor máximo mayor en la evolución

**Conclusiones**

Resumiendo lo ya visto a lo largo del trabajo podemos concluir con:

- a) Las de series temporales de NDVI/AVHRR se muestran muy útiles, a pesar de su resolución media (1 píxel 120 ha), para el seguimiento de las etapas de desarrollo de cultivos, obviamente la baja resolución espacial limita su aplicación a regiones con monocultivo o al menos con parcelas de tamaño mayor de un píxel del mismo cultivo.
- b) La comarca de Tierra de Campos es muy apropiada para desarrollos y aplicaciones de las series de NDVI/AVHRR debido al predominio mayoritario de terreno de secano de uso cerealista.

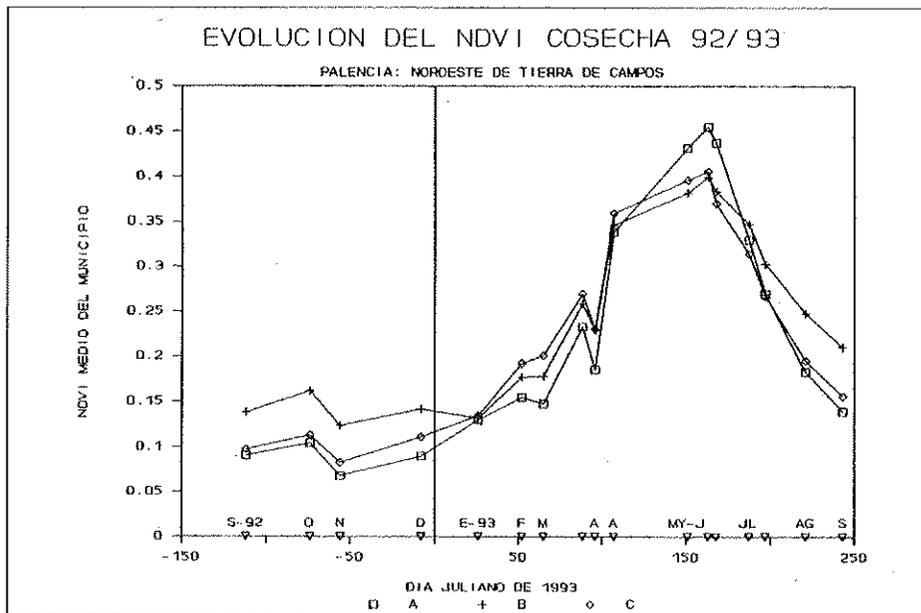


TABLA II  
Comparación de los resultados de la predicción de rendimiento para cereal  
y los resultados suministrados por la Junta de Castilla y León

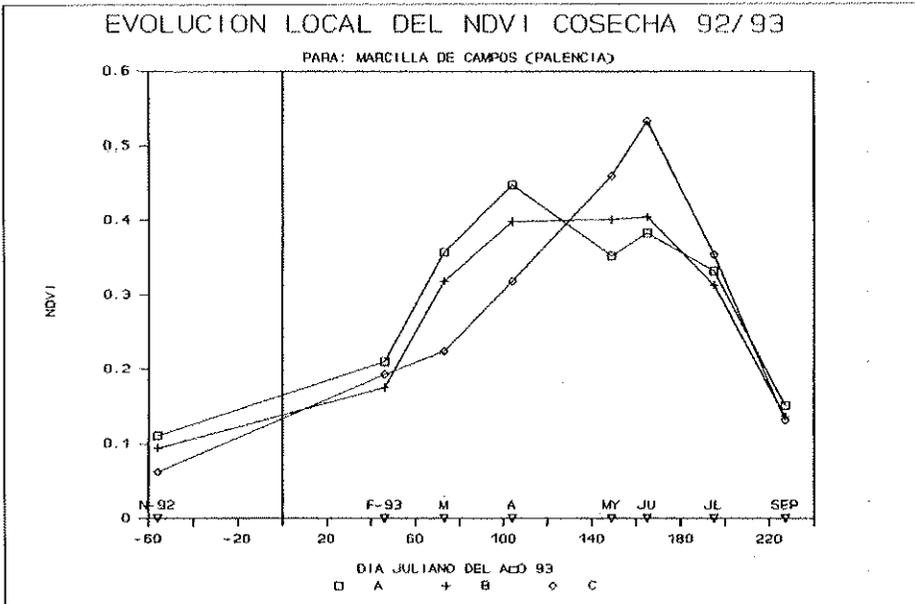


FIGURA 11

Curvas de evolución para puntos del municipio. La disparidad de su forma indica diferentes usos e incluso para el caso (C) tenemos un máximo para la imagen de junio

- c) La integral de la serie de NDVI muestra una buena correlación con los rendimientos para cereal (trigo+cebada). La introducción de nuevos datos como: agrometeorológicos, usos de suelo y cambios de uso puede permitir una notable mejora en los resultados obtenidos.

### Bibliografía

- Benedetti, R., 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 Romana. *Remote Sens. environ.*, 45, pp. 311-326.
- Holben, B.N.:** 1986: Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.*, 11,8, pp. 1511-1519.
- Huete, A.R., Hua, G., Qi, J. and Chebouni A.:** 1992: Normalization of Multidirectional Red and NIR reflectances with the SAVI. *Remote Sensing Environ.*, 41, pp. 143-154.
- Illera, P., Delgado, J.A. y Calle, A.:** 1993: Algoritmo de corrección geométrica de imágenes NOAA/ AVHRR. En *V Reunión Científica de la AET*. Las Palmas de Gran Canaria.
- Justice, C.O., Eck, T.F., Tanré, D. and Holben B.N.:** 1991: The effect of vapour on the normalized difference vegetation index derived for the Sahelian region from NOAA AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, 12,6, pp. 1165-1187.
- Malingreau, J.P. and Belward, A.S.:** 1989: Vegetation monitoring using AVHRR data at different resolutions. En *4th AVHRR Users' Meeting*, EUM P06, Rothenburg, F.R. Germany.

