

Estudio de índices de vegetación relacionados con la
productividad del arroz

A. GILABERT y J. MELIA

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado un estudio de la relación existente entre la productividad del arroz y su reflectividad, con vistas a comprobar si es posible predecir la producción de grano antes de que tenga lugar la siega. Para ello se ha realizado un análisis de regresión entre los valores de la productividad de una serie de parcelas de arroz y los correspondientes a diversos índices de vegetación elaborados a partir de las bandas del sensor Thematic Mapper (Landsat-5), encontrándose que los índices construidos a partir de las bandas TM4 y TM3, fundamentalmente, son los que muestran un coeficiente de correlación mayor con la producción final de grano.

1.- INTRODUCCION.

Las características de la reflectividad espectral de una cobertura vegetal proporcionan información cualitativa y cuantitativa que es útil tanto para identificar el cultivo como para estudiar diversos parámetros agronómicos relacionados con el mismo.

Sin embargo, la extracción de dicha información puede ser un proceso complicado debido a que la reflectividad de la cobertura vegetal viene determinada, no sólo por la del propio cultivo -dependiendo de su composición morfológica y de su etapa de crecimiento [1],[2]-, sino que influye el suelo [3], y depende, además, de los ángulos de irradiancia y de observación así como de las distorsiones producidas por la atmósfera (en caso de que se estudie desde satélite).

Por este motivo, desde el principio de los años setenta, se han venido desarrollando diversos *índices de vegetación* (combinaciones de bandas espectrales) cuya finalidad es realzar la contribución de la vegetación, atenuando la de otros factores (suelo, condiciones de iluminación y atmósfera) en la reflectividad de un cultivo [1],[4].

La definición de los diversos índices de vegetación se ha basado en el diferente comportamiento espectral que presenta la vegetación dependiendo de la longitud de onda: en el intervalo rojo (R) -donde existe fuerte absorción de la

radiación incidente por la clorofila- la reflectividad es muy baja, y el infrarrojo cercano (IRC) se caracteriza, contrariamente, por una reflectividad muy elevada. Así, la comparación de las reflectividades medidas en las bandas IRC y R proporciona una mejor estimación del índice de superficie foliar que otra banda espectral sola y, además, es, teóricamente, independiente de la variación en la irradiancia solar y del tipo de suelo [2].

Las primeras experiencias con índices de vegetación se deben a Jordan [5], quien utilizó la relación IRC/R. Posteriormente se han venido desarrollando otros varios, así la *diferencia normalizada* sugerida por Rouse et al. en 1973 [6]:

$$(IRC-R) / (IRC+R)$$

Las diferencias normalizadas se caracterizan: por su simplicidad, por su alto grado de estandarización y porque no hacen suposiciones en cuanto a la distribución de los datos [7].

Dentro de los denominados *índices de vegetación ortogonales* cabe citar el *índice de vegetación perpendicular (PVI)*, desarrollado por Richardson & Wiegand [8] utilizando la distancia perpendicular a la "línea del suelo". En este mismo grupo de índices, pero utilizando más bandas espectrales, tenemos los índices derivados por Kauth & Thomas en 1976 [9] a través de su transformación "Tasseled Cap" y que aplicaron a las bandas del sensor MSS. Posteriormente Crist & Cicone [10] los generalizaron, en 1986, para el sensor TM del satélite Landsat-5.

La dependencia de los índices anteriores con el suelo de la cobertura

es un tema conflictivo: mientras que algunos autores consideran que todos ellos normalizan la influencia del suelo [7], otros [11] apuntan que sólo los últimos son capaces de hacerlo al separar el "brillo" del suelo (brightness) del "verdor" de la vegetación (greenness).

Perry & Lautenschlager [6] hacen una extensa revisión de todos estos índices.

Dentro de las aplicaciones de la teledetección a la Agricultura es esencial cuantificar las relaciones entre los parámetros agronómicos y las propiedades espectrales del cultivo. Este tema ha sido objeto de numerosos trabajos en los últimos años, así, por ejemplo: Major *et al.* [11] han estimado el LAI (índice de superficie foliar), la biomasa y la producción de grano en el caso de cereales a partir de medidas radiométricas; Gardner *et al.* [12] han demostrado la utilidad de algunos índices de vegetación para el mismo fin; Badhwar & Henderson [13] han diseñado un modelo para clasificar cultivos y predecir su productividad; Patel *et al.* [14] cuantificaron las relaciones entre la respuesta espectral del arroz y diversas variables agronómicas, etc.

En todos estos trabajos, las medidas de reflectividad se obtienen a través de radiómetros, situados a pocos metros de altura del suelo o, a lo sumo, a bordo de un avión, los cuales simulan, bien las bandas espectrales del sensor MSS, bien las del TM. En este sentido, la novedad de esta comunicación radica en que el radiómetro que nos proporciona las medidas está situado a 700 km de

altura aproximadamente, es decir, a bordo de un satélite.

El objetivo de nuestro trabajo es hacer un análisis de la relación existente entre la productividad del arroz y su reflectividad, con vistas a comprobar si es posible predecir la producción final de grano al menos un mes antes de que tenga lugar la siega. Para ello se ha realizado un análisis de regresión entre los valores de la productividad de una serie de parcelas de arroz y los correspondientes a diversos índices de vegetación construidos a partir de las bandas espectales del sensor Thematic Mapper (TM), a bordo del satélite Landsat-5.

2.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.

2.1.- Descripción de la zona de estudio.

En la Comunidad Valenciana el cultivo del arroz se centra, principalmente, al sur de la ciudad de Valencia, en las tierras lindantes al lago de La Albufera y las próximas a la desembocadura del Río Júcar y la Ribera Baixa, con una extensión que oscila alrededor de las quince mil hectáreas.

Para nuestro estudio se ha tomado una zona de referencia, de unos 60 km² aproximadamente, enclavada al sur de La Albufera donde, prácticamente, existe monocultivo de arroz (con excepción de la franja litoral costera). En la figura 1, que corresponde a una imagen del satélite Landsat-5 TM, se muestra la zona. En la misma aparecen señaladas una serie de parcelas (que denominamos *parcelas patrón*), representativas de las distintas variedades de

arroz que se cultivan en la zona, y que han servido para estudiar las relaciones objeto de este trabajo.



Figura 1.- Imagen de la zona de estudio correspondiente a la banda TM4 (infrarrojo próximo). Las parcelas de arroz estudiadas aparecen representadas en la misma.

Ver Foto color n.º 30 en página 372

2.2.- Imágenes utilizadas.

El estudio se ha realizado con los datos de productividad que se adquirieron de la campaña arrocería de 1985, por lo tanto, se han utilizado dos imágenes del sensor TM comprendidas en el ciclo vegetativo del arroz del mismo año:

* 22 Julio de 1985

* 7 Agosto de 1985

Había una tercera imagen disponible perteneciente al 17 de Septiembre de

1985 pero que, por la propia evolución fenológica del cultivo en estudio, no es de interés, ya que la siega empieza a mediados de septiembre.

2.3.- Determinación de las magnitudes de interés: reflectividad y productividad.

2.3.1.- Reflectividad.

Para determinar la reflectividad espectral de cada una de las parcelas patrón utilizaremos las medidas de radiancia que nos proporciona el sensor Thematic Mapper (TM).

El paso de los valores de radiancia a valores de reflectividad hace uso de la expresión dada por la ecuación (1):

$$\rho_{\lambda} = (k\pi L_{\lambda}) / (H_0\lambda \cos\theta) \quad (1)$$

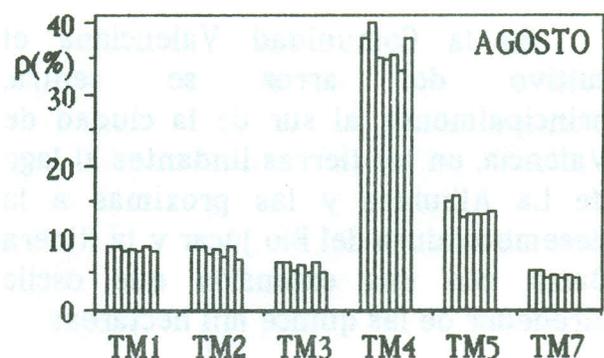
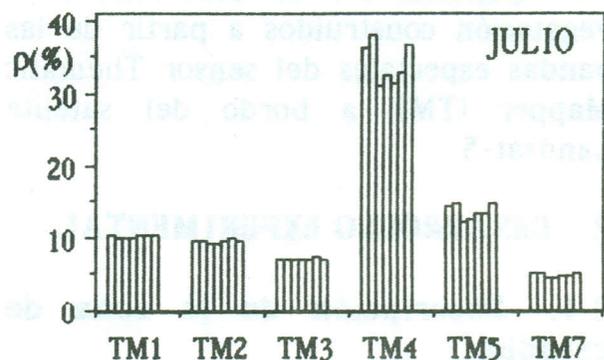
donde:

- ρ_{λ} es la reflectividad espectral,
- L_{λ} es la radiancia calculada a partir de las DC (cuentas digitales medidas en la imagen),
- $H_0\lambda$ es la irradiancia extraterrestre,
- k es un factor corrector de la distancia Tierra-Sol, y
- θ es el ángulo cenital solar.

A cada parcela patrón se le asociará un valor de reflectividad igual al valor medio de la de todos los pixels que contiene (el error de esta medida será su desviación típica).

En la figura 2 se representan, mediante diagramas de barras, los valores de reflectividad de las parcelas patrón en las dos fechas estudiadas: Julio y Agosto. Dicha figura nos muestra

la signatura espectral típica del arroz: valores altos, sobre todo, en la banda TM4 (infrarrojo próximo) y un poco menores en la TM5 (infrarrojo próximo); y valores bajos en las bandas visibles (TM1, TM2 y TM3) y en la TM7 (infrarrojo medio). La signatura espectral en las dos fechas es análoga si bien los máximos son más altos en la banda TM4 de Agosto y, en cambio, los valores en las bandas visibles (TM1, TM2 y TM3) son sensiblemente inferiores en esta misma fecha.



BANDAS ESPECTRALES TM

Figura 2.- Valores de reflectividad (%) de las parcelas de arroz estudiadas en función del intervalo espectral, en las imágenes de Julio (arriba) y de Agosto (abajo). Los errores relativos asociados a los valores para los distintos intervalos espectrales son, aproximadamente, del siguiente orden de magnitud: TM1-2%; TM2-3%; TM3-5%; TM4-4%; TM5-5% y TM7-11%.

2.3.2- Productividad.

Los datos referentes a la productividad de las parcelas patrón estudiadas proceden de una encuesta directa realizada a los encargados de dichas parcelas. Dentro de la clasificación de técnicas de medida de la productividad que establece Curran [7] se podrían clasificar dentro de la categoría de "biomasa cosechada", puesto que los datos hacen referencia a los valores obtenidos al pesar, "en seco" (al 14% de humedad), el grano cosechado.

2.4.- Correlación efectuada entre los datos de reflectividad y de productividad.

Para ambas fechas -Julio y Agosto- se han efectuado diversos análisis de regresión (ajustando a rectas, puesto que se buscan relaciones sencillas) con objeto de determinar la relación existente, si la hay, entre la productividad de las parcelas y su reflectividad en una banda espectral sola o en combinaciones de bandas espectrales (índices de vegetación) (tabla 1).

Las bandas TM4 y TM5 se escogen porque son las que presentan mayores diferencias entre las distintas parcelas de arroz y un menor solapamiento entre las mismas, por tener menor error de dispersión, tal como se observa en la figura 2. La componente principal CP2 se ha estudiado porque tiene una elevada contribución de la banda 4 y se espera que sea, así mismo, muy sensible a la cantidad de vegetación. Por otra parte, se han ensayado algunas combinaciones de las bandas 4 y 3 que

habían ofrecido buenos resultados en trabajos anteriores [12], [14]; así como la componente 'greenness', utilizada con éxito para propósitos afines [11],[13].

Tabla 1.- Bandas espectrales e índices de vegetación utilizados en el análisis de regresión.

TM4
TM5
$R(4/3) = TM4 / TM3$
$R(4/5) = TM4 / TM5$
$IV(4-3) = (TM4-TM3) / (TM4+TM3)$
CP2
GREENNESS*

* Corresponden a la generalización efectuada por Crist *et al.* [10] para el sensor TM del Landsat-5.

3.- RESULTADOS.

Los valores relativos a la reflectividad medidos en Julio muestran una menor correlación con la productividad que los medidos en Agosto. En general, el coeficiente de correlación en todos los casos es muy bajo, siendo los índices de vegetación IV(4-3) y R(4/3) los que lo muestran sensiblemente mayor ($r=0,59$). Por lo tanto queda eliminada la fecha de Julio a efectos de estimar la productividad.

En la figura 3 se da un ejemplo de bandas e índices de Agosto poco correlacionados con la productividad que, sin embargo, muestran una r mayor que la que se obtiene en Julio.

Los resultados mejoran apreciablemente (figura 4) cuando tomamos

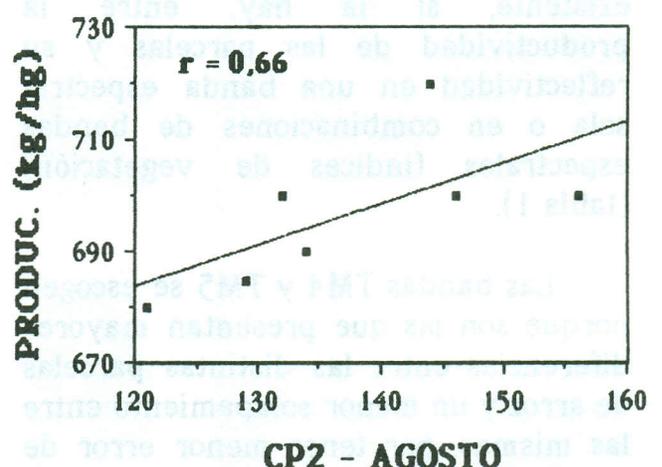
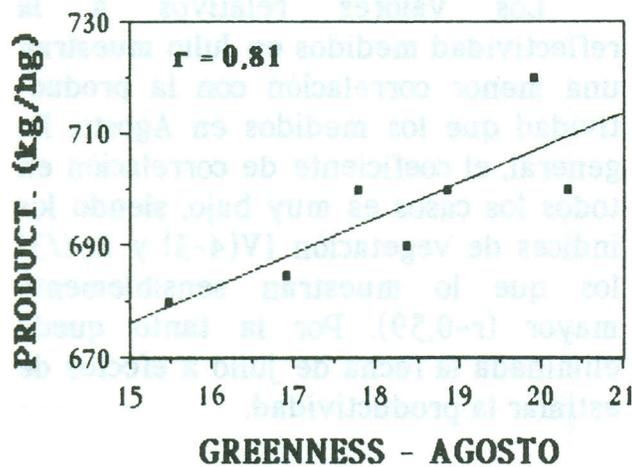
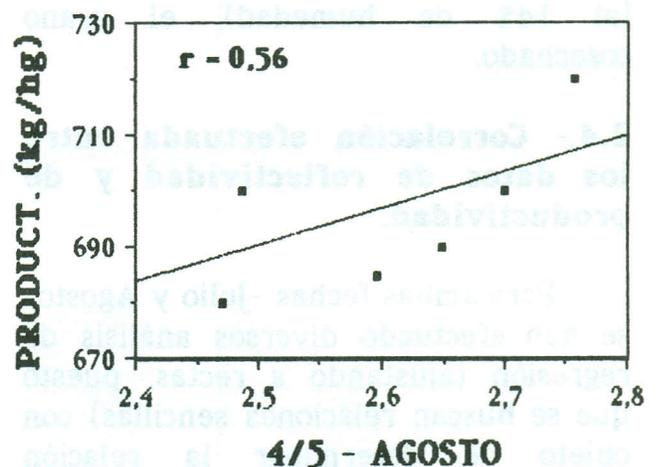
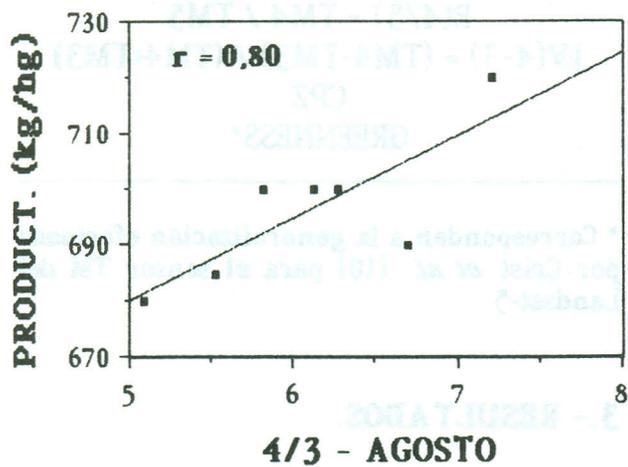
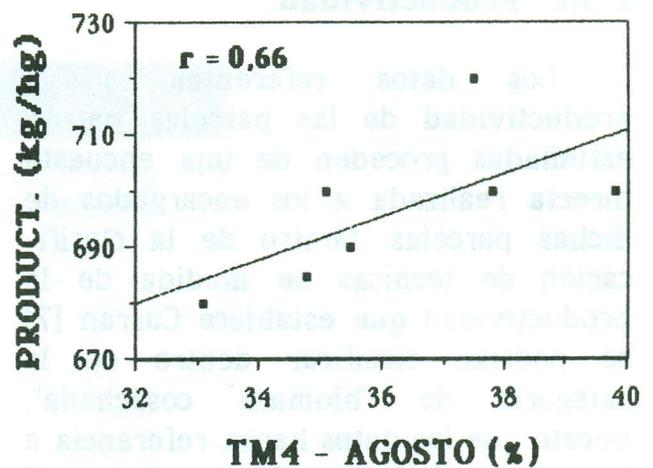
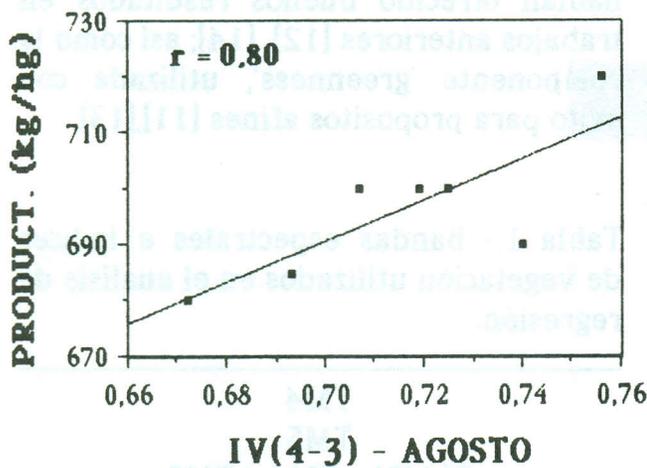


Figura 3.- Correlaciones encontradas, en la imagen de Agosto, entre los valores de reflectividad -medidos en la banda TM4 y en algunos índices de vegetación- y los datos de productividad.

Figura 4.- Ajustes de los datos de productividad con los índices de vegetación que muestran un coeficiente de correlación mayor en la imagen de Agosto.

índices de vegetación con participación de las bandas espectrales TM3 (0.63-0.69 mm: rojo) y TM4 (0.76-0.90 mm: infrarrojo próximo). En este caso se han observado los valores más altos para el coeficiente de correlación de los ajustes. Tal es el caso del IV(4-3), R(4/3) y de la componente GREENNESS que, aún siendo una combinación lineal de todas las bandas espectrales del sensor TM (excepto de la TM6:infrarrojo térmico), tiene mayor contribución de la TM4 (el coeficiente de la combinación lineal para esta banda es 0.722) y de la TM3 (0.551), siendo en el primer caso la contribución positiva y en el segundo negativa.

Que la imagen de Agosto, perteneciente a la fase de maduración del arroz, sea más útil que la de Julio es, en cierta forma, razonable puesto que está más cerca de la fecha de la siega, que es cuando se mide la cantidad de grano producido por la parcela.

En cuanto a la combinación de bandas espectrales que muestran mayor correlación con los datos de productividad, los resultados coinciden con los de otros autores como: Pate*et al* [14], que encontraron que la diferencia normalizada IRC-R era la que mejor se correlacionaba con la productividad del arroz (trabajando con el sensor MSS), así como Major *et al* [11] y Badhwar & Henderson [13] que trabajaron con la componente GREENNESS.

El motivo de que la combinación de las bandas TM3 y TM4 de mejores resultados que la TM4 sola parece ser debido a que en el primer caso se están disminuyendo notablemente los efectos de la atmósfera y del suelo (aún con un

grado de cobertura próximo al 100% la reflectividad del suelo interfiere en la del cultivo) y realzan la reflectividad de la vegetación. Por lo tanto, tienen mayor significatividad biológica a efectos de correlacionarlos con la productividad, parámetro que se valora a partir de la cubierta vegetal de la parcela.

Hay que insistir en que, si bien hemos transformado a valores de reflectividad las cuentas digitales que nos proporciona la imagen para intentar normalizar algún factor de los que influyen en la respuesta espectral del cultivo como es la irradiancia solar, continúan quedando pendientes otros como la perturbación introducida por la atmósfera. Por este motivo es mejor utilizar una combinación de bandas puesto que, de esta forma, se compensa en parte la corrección que se tendría que aplicar a las dos bandas espectrales en juego.

Otro aspecto a tener en cuenta es que se ha relacionado directamente la reflectividad con la productividad, mientras que la mayoría de los trabajos sólo ven clara su relación de forma indirecta a través del LAI. Sin embargo, Curran [7] apunta que la biomasa (o cualquier otra medida de la vegetación) se puede relacionar directamente con la productividad en dos casos, uno de los cuales se podría aplicar a este trabajo: "cuando las hojas constituyen una proporción alta y constante del total de la biomasa". Patel *et al* [14] analizando el arroz han podido establecer, también, esta relación directamente.

Los resultados obtenidos en este trabajo mejoran los de Patel *et al* [14] al lograrse con una combinación de bandas

espectrales análoga un coeficiente de correlación algo mayor a pesar de trabajar con medidas efectuadas desde satélite. Este hecho podría atribuirse a nuestra resolución radiométrica (256 niveles), que es más alta que la utilizada por estos autores (64 niveles, simulando las bandas del sensor MSS), y también a la mejor definición espectral de las bandas de medida infrarroja cercana y roja del sensor TM frente al MSS.

Ya que la calidad de los datos no es susceptible de mejora, el estudio iniciado en este trabajo se va continuar con los datos de otro año, ampliando además el muestreo de parcelas, para darle una mayor significatividad a las correlaciones desde el punto de vista estadístico.

4.- BIBLIOGRAFIA.

- [1] J.E. COLWELL, 1974. Vegetation canopy reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 3:175-183.
- [2] H. SMITH (Ed), 1981. *Plants and the Daylight spectrum*, Academic Press, 65-99.
- [3] A.R. HUETE, R.D. JACKSON & POST, 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds, *Remote Sensing of Environment*, 17:37-53.
- [4] C.J. TUCKER, J.H. ELGIN & J.E. Mc MURTREY, 1979. *Photogramm. Eng. remote Sensing*, 45:643-653.
- [5] C.F. JORDAN, 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, *Ecology*, 50:663-666.
- [6] Ch.R.PERRY & L.F.LAUTENSCHLAGER, 1984. Functional equivalence of spectral vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 14:169-182.
- [7] P. CURRAN, 1980. Multispectral remote sensing of vegetation amount, *Progress in Physical Geography*, 4:315-341.
- [8] A.J. RICHARDSON & C.L. WIEGAND, 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 43:1541-1552.
- [9] R.J. KAUTH & G.S. THOMAS, 1976. The Tasseled Cap - a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat, *Proc. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana 21 June-1 July 1976, 4B41-4B51.
- [10] E.P. CRIST, R. LAURIN & R.C. CICONE, 1986. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data, *Proc. IGARSS'86 Symp*, Zürich 8-11 Sept. 1986, Ref. ESA SP-254, 1465-1470.
- [11] D.G. MAJOR, G.B. SCHAALJE, G. ASRAR & E.T. KANEMASU, 1986. Estimation of whole-plant biomass and grain yield from spectral reflectance of cereals, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 12(1): 47-54.
- [12] B.R. GARDNER, B.L. BLAD, D.R. THOMPSON & K.E. HENDERSON, 1985. Evaluation and interpretation of Thematic Mapper ratios in equations

for estimating corn growth parameters, *Remote Sensing of Environment*, 18:225-234.

- [13] G.D. BADHWAR & K.E. HENDERSON, 1985. Application of Thematic Mapper data to corn and soybean development stage estimation, *Remote Sensing of Environment*, 17: 197-201.

- [14] N.K. PATEL, T.P. SINGH, BALDEV SAHAI & M.S. PATEL, 1985. Spectral responses of rice crop and its relation to yield and yield attributes, *Int. J. Remote Sensing*, 6(5): 657-664.

Este trabajo ha sido subvencionado, en parte, por el Proyecto nº A-172/87 de la CAICYT y por la Conselleria d'Agricultura i Pesca de la Generalitat Valenciana.