

UN MÉTODO PARA DETERMINAR CON TELEDETECCIÓN LA LOCALIZACIÓN PREFERENTE DEL MAÍZ EN UN REGADÍO

M. Anane y M. A. Casterad.

acasterad@aragob.es

*Servicio de Investigación Agroalimentaria, Gobierno de Aragón.
Apdo. 727, 50.080 Zaragoza*

RESUMEN: Se ha aplicado una metodología sencilla y operativa, basada en el NDVI, para determinar la localización preferente del maíz dentro del regadío de Flumen (Huesca). Se han discriminado cinco categorías de preferencia: *muy alta*, *alta*, *media*, *baja* y *muy baja*. Las dos primeras suponen el 30% de la superficie de maíz, la tercera el 49% y las dos últimas el 21%. Se observa cierta relación entre preferencia y aptitud del suelo. La información obtenida puede servir para asesorar a los productores y a los compradores de maíz acerca de las zonas que con mayor probabilidad se dedicarán a ese cultivo en las próximas campañas.

Palabras claves: NDVI, Landsat TM, maíz.

SUMMARY: We have applied a simple and functional methodology, based on NDVI, to determine the preferable corn settlements in the Flumen irrigated district (Huesca, Spain). We establish five categories in the corn area: *very high* and *high preference* with 30% of the overall corn area, *medium preference* with 49%, and *low* and *very low preference* with 21%. Also, we find some relationship between these preferences and soil potentialities. This categorisation can serve to advise both producers and buyers about the areas prone to be cropped with corn in forthcoming years.

Key Words: NDVI, Landsat TM, corn.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de los sistemas agrarios y la conservación del medio exige en zonas áridas como el centro del valle del Ebro, donde la agricultura se sostiene gracias al regadío, una cuidadosa gestión. Cualquier cambio en los mercados, la política agraria, la disponibilidad de agua, etc. puede exigir decisiones rápidas acerca de los cultivos a implantar u otras actuaciones, para conseguir un rendimiento aceptable del regadío. Se necesitan métodos y modelos que predigan el comportamiento del regadío ante situaciones no habituales y que proporcionen información útil ante esas situaciones.

La teledetección, desde su perspectiva privilegiada, permite localizar los cultivos, como han puesto de manifiesto diferentes artículos. Además, mediante técnicas como la utilización de los índices de vegetación, se puede cuantificar el vigor de los cultivos, información de gran utilidad para el estudio del comportamiento del regadío.

En este trabajo se aplica una metodología sencilla y operativa, basada en el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), para predecir y localizar dentro del regadío de Flumen (Huesca) las zonas preferentes de cultivo de maíz.

Además se establece una clasificación de esas zonas según el desarrollo del cultivo esperable en ellas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio

El regadío de Flumen tiene 322 km² y se sitúa en la provincia de Huesca, al sur de la capital. El clima es semiárido, con medias anuales de 14.5 °C de temperatura, 423 mm de precipitación y 1142 mm de evapotranspiración de referencia. Hay problemas de salinidad-sodicidad en algunos suelos, que afectan en mayor o menor medida a los cultivos.

Localización de las áreas donde se cultiva maíz

Las estadísticas oficiales dan la superficie de cultivos desglosada por municipios, lo que no permite deducir la superficie ocupada por el maíz en el regadío. Además dichas estadísticas no indican dónde se localiza el cultivo. En este trabajo se emplean mapas de cultivos y ocupaciones elaborados en el SIA mediante clasificación supervisada multitemporal de imágenes Landsat 5 TM con los métodos reseñados en Casterad (1996).

Para este trabajo se seleccionaron los años 1996, 1997, 1998 y 1999. En los tres primeros, se dan las superficies de maíz más elevadas de la última

década en el regadío, con 4823 ha, 5794 ha, y 3790 ha respectivamente. En 1999 hay un acusado descenso de la superficie de maíz (1347 ha) debido a la escasez de agua embalsada al inicio de la campaña de riego.

Se extrajo una máscara de la superficie ocupada cada año por el maíz. La exactitud en la delimitación de estas zonas viene determinada por la exactitud de la clasificación del maíz, alta en los cuatro años. La fiabilidad del usuario, obtenida con la verdad terreno utilizada para clasificar las imágenes, fue > 85 % en todos los años.

Para obtener las máscaras definitivas, se eliminaron los píxeles aislados o que formaban grupos de pequeña superficie. La unión de esas cuatro máscaras, con 9942 ha, constituye el área donde se desarrollan los procesos posteriores.

Mapa de vigor vegetativo del maíz

Se obtuvo el NDVI de las imágenes disponibles más tardías de cada año, 20 de junio de 1996, 24 de julio de 1997, 14 de julio de 1998 y 11 de agosto de 1999. Las imágenes estaban corregidas radiométrica y geoméricamente y remuestreadas a 25 m. El error cuadrático medio fue en todos los casos inferior a 1 píxel. Esas fechas, con el maíz en avanzado desarrollo, son óptimas para diferenciar zonas con diferente vigor vegetativo (Walberg *et alii*, 1982).

Los valores de NDVI obtenidos para el maíz se agruparon en tres clases según el vigor (Tabla 1). Para ello se tomó como referencia 1999, único año del que se tienen tres imágenes de verano, una de junio, otra de julio y otra de agosto. Se seleccionaron píxeles de maíz entre los de verdad terreno, abarcando toda la escala de NDVI en las tres fechas, y se examinó el NDVI junto a la firma espectral de esos píxeles. La forma de ésta permitió establecer clases de NDVI. Se tuvieron también en cuenta los valores de NDVI obtenidos por Bausch (1993) y Gilabert *et alii* (1996) en maíz en relación con la fase del ciclo vegetativo y su índice del área foliar. Estos autores trabajaron con espectrorradiómetro de campo simulando las bandas del Landsat TM.

Vigor Vegetativo	NDVI
Nulo-Bajo	0.20-0.50
Medio	0.51-0.70
Alto	0.71-0.95

Tabla 1.- Vigores vegetativos del maíz y sus correspondientes intervalos de NDVI.

No se encontraron valores de NDVI < 0.20, valor en torno al cual se localiza el umbral crítico establecido para cubiertas vegetales. El límite

superior del maíz con nula o escasa masa vegetal es NDVI = 0.50. Su firma espectral es la típica de suelo desnudo, o presenta reflectancias similares en las bandas 4 y 5 cuando existe algo de vegetación.

El maíz moderadamente desarrollado tiene NDVI entre 0.51 y 0.70. Su firma espectral indica cobertura parcial del cultivo, donde la influencia del suelo se manifiesta en los valores relativamente altos de la banda 5. Pese a la sensibilidad del NDVI al suelo (Huete *et alii*, 1985), este intervalo de NDVI corresponde a la misma clase de vigor vegetativo.

Se consideró 0.71 el límite inferior de maíz con alto vigor vegetativo. No se alcanzan valores superiores a 0.95. La firma espectral del maíz con alto vigor es la típica de vegetación desarrollada.

Finalmente se analizó visualmente la distribución de los vigores vegetativos del maíz en el regadío. Así mismo se obtuvo la superficie anual abarcada por cada uno de ellos.

Clasificación de la superficie de maíz según preferencia a plantar dicho cultivo

A partir de los mapas anuales de vigores se establecieron cinco categorías relacionadas con la preferencia a implantación del cultivo, desde I, áreas con *preferencia muy alta*, hasta V áreas con *muy baja preferencia* (Tabla 2). Para ello se analizó la distribución espaciotemporal del vigor vegetativo del maíz en el regadío teniendo en cuenta la permanencia del maíz en cada píxel y su vigor vegetativo en los años estudiados. Se fueron asignando los píxeles a las subclases de la Tabla 2, en ese orden y de forma excluyente.

Preferencia para cultivo de maíz	Permanencia-Vigor vegetativo
I.- Muy alta	I.1- 4 años seguidos-Alto
	I.2- 3 años-Alto
	I.3- 2 años-Alto, y 1996-Medio
II.- Alta	II.1- 2 años-Alto
	II.2- 1 año-Alto, y 1996-Medio
III.- Media	III.1.- 1 año-Alto
	III.2.- 1996-Medio
IV.- Baja	1 año-Medio
V.- Muy baja	1 año ó más-Bajos

Tabla 2. Clasificación de la superficie de maíz de Flumen según preferencia para su cultivo

Evaluación de los resultados

Los resultados obtenidos se confrontaron con un mapa de aptitudes de suelo para el cultivo (Nogués *et alii*, 2000). Se analizó la distribución de maíz en

las diferentes aptitudes de suelo atendiendo a la categoría de preferencia establecida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vigor vegetativo del maíz en el regadío

Más del 65% de la superficie de maíz del regadío de Flumen presenta, en las fechas estudiadas, alto vigor vegetativo, excepto en 1996 (Tabla 3). La superficie con bajo vigor vegetativo representa en torno al 10% de la superficie total de maíz, excepto en 1997 que supone el 3%.

Vigor vegetativo	1996		1997		1998		1999	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Alto	2271	48	4210	72	2437	66	890	71
Medio	1919	40	1446	25	1010	27	250	20
Nulo-Bajo	561	12	174	3	241	7	115	9

Tabla 3.- Distribución del vigor vegetativo del maíz en el regadío de Flumen (Huesca)

El análisis visual de los NDVI obtenidos revela que los píxeles con nulo-bajo vigor vegetativo corresponden a: (i) parcelas en las que no se encuentra otro vigor vegetativo; y (ii) márgenes de parcelas de alto o moderado vigor vegetativo. En estas márgenes los píxeles son mixtos con coberturas de bajo NDVI, como caminos y acequias, y presumiblemente se asignaron al maíz al aplicar el filtro de mayoría a la clasificación supervisada.

Predominan las parcelas con vigor vegetativo alto frente a las de vigor moderado. Se observan otras donde coexisten estos dos tipos de vigor que corresponden a: (i) parcelas en las que generalmente se encuentran píxeles con alto vigor rodeados por píxeles de vigor moderado, y (ii) parcelas de alto vigor vegetativo con alineamientos de píxeles de vigor moderado correspondientes a lindes entre subparcelas de maíz.

Disposición del maíz en el regadío

De las 9942 ha del regadío de Flumen, donde se ha registrado maíz en los años estudiados, casi el 50% se engloba en *preferencia media* y suponen 4884 ha. En la mayor parte de esta superficie (3942 ha) el maíz se ha cultivado sólo un año.

El 30% de la superficie ocupada por el maíz en el regadío se clasifica en *preferencia muy alta* y *preferencia alta* ocupando 746 ha y 2262 ha respectivamente. En 60 ha, el maíz se ha cultivado los cuatro años teniendo siempre un alto desarrollo vegetativo. Estas zonas con *preferencia muy alta* y *preferencia alta* son las más recomendables para cultivar maíz y será en ellas donde probablemente

persista el cultivo cuando haya factores adversos de tipo económico, de escasez de agua, etc.

Las zonas con *preferencia baja* y *preferencia muy baja* son las de menor superficie, representando el 21% de la superficie total de maíz. Son las menos recomendables para el cultivo de maíz. La primera ocupa 1515 ha y la segunda 612 ha. En la mayoría se ha cultivado el maíz solamente en dos años, y el vigor vegetativo alcanzado ha sido medio. No se observa ninguna parcela donde se haya cultivado en los cuatro años maíz con nulo-bajo vigor.

En las tres aptitudes de suelo definidas se dan las cinco categorías de preferencia (Figura 1). El porcentaje de superficie con *preferencia muy alta* y *preferencia alta* es mayor cuanto más aptitud para el cultivo tiene el suelo. Lo contrario sucede para *preferencia baja* y *preferencia muy baja*. El porcentaje de superficie de *preferencia media* es muy similar en las tres aptitudes de suelo.

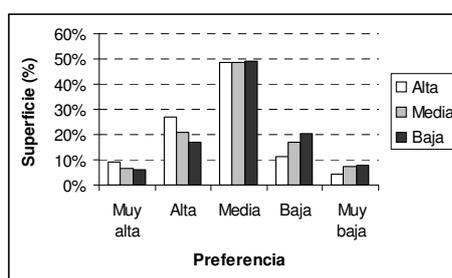


Figura 1. Presencia de las diferentes categorías de preferencia a cultivo de maíz en las clases de aptitud del suelo para en el regadío de Flumen

Esta distribución de cada categoría en las clases de aptitud de suelo traduce el manejo de las explotaciones por agricultores individuales. En ello interviene no sólo la aptitud del suelo para el cultivo, sino muchos otros factores como el tamaño de la explotación, o la capacidad de transporte de la red de distribución de agua y la disponibilidad de ésta.

La información presentada puede servir para calificar zonas del regadío por su proclividad a repetir el cultivo en las próximas campañas, obviamente relacionada con una cierta garantía de producción y rendimiento económico. Del mismo modo permitiría establecer un orden de explotación de la tierra si se prevé una superación de la superficie máxima garantizada fijada por la PAC. En cualquier caso, en la decisión del agricultor para

cultivar maíz en una zona u otra intervienen factores socioeconómicos que pueden ser determinantes.

La clasificación establecida no ha tenido en cuenta las rotaciones de cultivos. La incorporación de esta información y de datos de más años permitirá analizar la sucesión de cultivos en parcelas con maíz, y definir nuevos criterios que mejoren la clasificación presentada. Se presumen ajustes importantes en la categoría *preferencia media*, que se reflejarán en una disminución de su superficie en favor de las categorías *preferencia alta* y *preferencia baja*. Actualmente la categoría *preferencia media* esta incluyendo demasiada superficie pues se ha establecido el criterio de pertenencia muy amplio, un único año con maíz de los cuatro ensayados, sin considerar las coberturas del suelo en los otros tres años.

CONCLUSIONES

Se ha conseguido, con una metodología sencilla basada en el NDVI, clasificar la superficie que el maíz ocupa en el regadío de Flumen (Huesca) en cinco categorías según preferencia para el cultivo. Para ello se han utilizado imágenes de cuatro años.

El 30% de la superficie tiene *preferencia muy alta* y *alta*, el 49% *preferencia media*, el 21% *preferencia baja* y *muy baja*, existiendo cierta relación entre preferencia y aptitud del suelo para el cultivo de maíz.

La metodología presentada es útil para determinar la localización preferente de un cultivo en un regadío. El agricultor es quien en último término decide como manejar su explotación y qué superficies dedicar a cada cultivo, pudiendo prevalecer los factores socioeconómicos frente a la capacidad productiva de la parcela.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resultado del proyecto de investigación INIA RTA02-095-C3.

BIBLIOGRAFÍA

Bausch, W. C. 1993. Soil background effects on reflectances-based crop coefficients for corn. *Remote Sensing of Environment* 46: 213-222.

Casterad, M. A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal* 11: 255-279.

Gilabert, M.A., Gandía, S. and Meliá, J. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. *Remote Sensing of Environment* 55: 11-20.

Huete, A.R., Jackson R.D. and Post D.F. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment* 17: 37-53.

Nogués, J., Herrero, J., Rodríguez-Ochoa, R. and Boixadera, J. 2000. land evaluation in a salt-affected irrigated district using an index of productive potential. *Environmental Management* 25: 143-152.

Walburg, G., Bauer, M.E., Daughtry, C.S.T. and Housley, T.L. 1982. Effect of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies. *Agronomy Journal* 74: 677-683.