

MODELOS DE ESTIMACIÓN DE COSECHAS DE CEREAL BASADOS EN IMÁGENES DE SATÉLITE Y DATOS METEOROLÓGICOS

L.J. Román, A. Calle y J.A. Delgado

abel@latuv.uva.es

Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. LATUV. 47071-Valladolid

RESUMEN

En la actualidad, los índices de vegetación obtenidos por satélite ofrecen una herramienta muy útil para el seguimiento de la actividad fotosintética de las cubiertas vegetales. Basándonos en esto se han desarrollado dos modelos de estimación de cosechas, el primero teniendo en cuenta únicamente el NDVI y el segundo incluyendo diversas variables agrometeorológicas.

ABSTRACT

Actually, vegetation indexes obtained from remote sensing are used as a useful tool on the vegetation monitoring based on photosynthetic activity. This paper shows two models of cereal crop yield. The first only based on NDVI and the second using other meteorological variables too.

Palabras clave: Rendimientos de cosechas, AVHRR

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo de modelos de estimación de cosechas tiende a estimar los rendimientos en función de la actividad fotosintética desarrollada por el cultivo. La teledetección está poniendo al alcance de los investigadores datos que hace unos años no eran accesibles por su inexistencia o por los elevados costes que acarrearían. Es innegable la utilidad de estos modelos a todos los niveles, pero quizá adquiera mayor relieve su uso por parte de las administraciones públicas no sólo con el fin de obtener unas estadísticas agrarias fiables sino como herramienta de orientación en la planificación de la producción agrícola así como en el manejo de las políticas de mercado para hacer frente con mayor certidumbre a las condiciones de mercado.

En la actualidad, no existe un uso operativo de estos modelos, quizás por no ser lo suficientemente simples para que puedan utilizarse de manera general y que al tiempo nos ofrezcan unas estimaciones fiables.

METODOLOGÍA

Siguiendo una metodología paralela a otros autores (Delgado et al., 1997, Terrab 1997, Terrab et al.,

1997, Benedetti et al., 1993) se han desarrollado dos modelos de estimación de cosechas de cereal, para cebada y trigo. Se han escogido estos cereales por las similitudes en su desarrollo y su cultivo masivo en Castilla y León.

El modelo simple, basado en el NDVI tiene como características su fácil manejo y la rapidez con la que se pueden incluir los datos en el modelo ya que los datos provienen del satélite. El manejo del modelo general, que incluye las variables meteorológicas provenientes de estaciones de tierra, es más lento ya que es necesario un tratamiento de los datos antes de su inclusión en el mismo.

Para el desarrollo del modelo basado en el NDVI se ha trabajado con los años 1995 al 2000 inclusive, mientras que en el modelo con las variables climáticas se ha trabajado con los datos de los años 1995 y 1996.

Los periodos con los que se ha trabajado van del 1 de febrero al 30 de julio para todas las variables.

Para el desarrollo de estos modelos se hace imprescindible el realizar un seguimiento de la cubierta vegetal de cultivo a lo largo de todo su ciclo de desarrollo, que en este caso se ha realizado en base a las imágenes de NDVI suministradas por el satélite NOAA.

Los datos que se han utilizado han sido:

- Índice de vegetación NDVI, obtenido a partir de imágenes de satélite
- Datos de pluviometría, obtenidos de la red de estaciones meteorológicas del INM.
- Datos de temperatura de superficie terrestre, obtenidos a partir de imágenes del satélite NOAA, al igual que los datos de NDVI.
- Datos de temperatura del aire, obtenidos de la red de estaciones meteorológicas del INM.
- Encuestas de superficies y rendimientos para cereal, realizadas por el M.A.P.A. y la Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León.

Los datos de NDVI y de temperatura de suelo se han obtenido a partir de los datos suministrados por el sensor AVHRR de satélite NOAA. Para la pluviometría y la temperatura del aire se han generado mapas interpolados para toda la Comunidad Autónoma. La interpolación de los datos pluviométricos ha sido por el procedimiento de Polígonos Thiesen, como ya ha sido experimentado por otros autores (Illera, et al., 1998). Para la obtención de los mapas de temperatura de aire se ha realizado una interpolación con el inverso del factor potencial de la distancia utilizando un Modelo Digital del Terreno. Este tipo de interpolación introduce una corrección para la dependencia que presenta la temperatura con la altura del terreno, utilizando un gradiente constante de variación de la temperatura con la altura.

Todos estos datos han sido agrupados según el procedimiento de los compuestos decenales, de manera que cada mes constará de tres de estos compuestos, cada uno de ellos formado por diez días, lo que hace posible seguir de cerca la evolución del cultivo

La escala de trabajo del modelo va a ser de 1km². Se ha dividido la comunidad en celdas de 1 km X 1km. Esto nos viene dado por dos motivos:

- 1) Las encuestas de superficie y rendimientos elaboradas por el ministerio de agricultura toman como base para la encuesta unidades de 1km. X 1km.
- 2) La resolución espacial del sensor AVHRR.

Una vez agrupados los datos de las distintas variables en compuestos decenales se ha procedido a

su integración. Se han realizado integraciones de los datos teniendo en cuenta todas las posibles combinaciones posibles de los límites inicial y final de integración. Se ha determinado el coeficiente de correlación existente entre cada uno de los distintos periodos de integración con el rendimiento. El coeficiente de correlación más elevado para cada periodo y año nos ha marcado los límites de integración de cada variable.

Una vez determinados los límites de integración de cada variable se ha realizado un análisis de regresión (simple o múltiple, según el caso) para obtener los coeficientes de las ecuaciones que van a regir los modelos.

Los datos de regadío no llegaban al 2% de los totales y se han eliminado por las altas distorsiones que introducían en ambos modelos

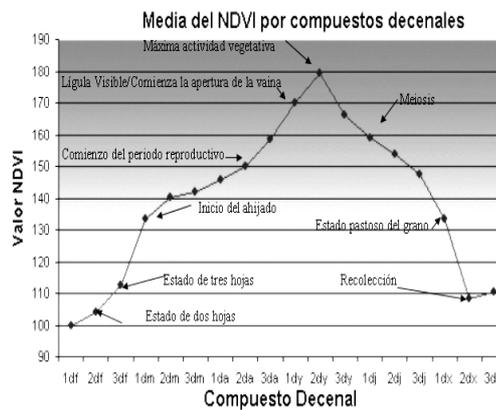


Figura 1: Evolución media temporal del NDVI.

Las curvas de evolución de la media del NDVI nos indican como va evolucionando la actividad fotosintética desarrollada. Por ello, a partir de estas curvas podemos identificar y ubicar temporalmente estados fenológicos concretos del cultivo. Las curvas de NDVI van a presentar formas semejantes de un año a otro, aunque los puntos clave de las mismas (inicio, fin y máximo) estarán desfasados según el ciclo se haya adelantado o retrasado un año de otro. Los puntos de inflexión de la curva nos marcará distintas partes del ciclo fenológico. El tamaño de la curva entre dos puntos de inflexión nos indicará que esa parte del ciclo se ha alargado más o menos en función de la climatología.

Se ha comprobado como los límites de integración de NDVI, aunque varían año tras año, siempre marcan un periodo concreto del ciclo fenológico, con independencia de que el cultivo se adelante o atrase. Ha sido de mayor importancia la tendencia de la curva (que nos indica el cambio de un estado fenológico a otro), que la amplitud del tramo con esa tendencia (en función de la climatología el periodo fenológico se puede alargar más o menos de un año a otro y con ello varía la amplitud del tramo de la curva de NDVI, ej: reducción del periodo de ahijado con la presencia de altas temperaturas en siembra primaveral, reducción del periodo de llenado del grano con la presencia de altas temperaturas).

Para aplicación del modelo propuesto se ha de llevar a cabo una integración de los valores de los compuestos decenales de NDVI entre:

- Límite inicial: cuando la espiga ya está formada pero antes del espigado (momento situado a finales del proceso de encañado).

- Límite final: Recolección del cereal.

La integración de los compuestos decenales de las temperaturas será:

- Límite inicial: meiosis/antesis del cultivo.

- Límite final: estado pastoso del grano.

La figura 1 sirve de base para la comprensión adecuada de los diversos estados fenológicos del cereal y la evolución del NDVI.

La ventaja añadida que presentan estos límites es la gran facilidad que presentan para su identificación a pie de campo.

Las variables climatológicas no han bastado para determinar rendimientos por si solas, pero aportan una información extremadamente útil cuando se usan en conjunción con el NDVI.

Las dos ecuaciones analíticas que expresan los modelos establecidos, el primero de ellos basado exclusivamente en el análisis del NDVI acumulado y el segundo teniendo en cuenta, además, las variables de temperatura, son:

$$R(\text{kg/ha}) = 1.538 \sum \text{NDVI} + 439.573$$

$$R(\text{kg/ha}) = 3.028 \sum \text{NDVI} - 0.3088 \sum (T_a)^2 - 0.9101 \sum T_s$$

donde el NDVI está expresado en un valor entero renormalizado según: $[-0.05, 0.8] \rightarrow [0, 2.55]$.

El análisis de la correlación de los distintos tipos de temperatura utilizados con el rendimiento ha dado lugar a correlaciones negativas. Las temperaturas van a producir una merma en los rendimientos, la información que nos añade al modelo es el efecto

negativo de las mismas en las cosechas. Esto ha quedado patente al analizar los periodos de integración de las mismas. Las máximas correlaciones se dan en los periodos de máxima sensibilidad del cereal a las temperaturas, en especial al "asurado".

En el modelo de estimación general gran parte de la información aportada por las variables climatológicas ya estaba recogida implícitamente en el índice de vegetación, por lo que parte de las variables han quedado fuera del modelo al no aportar ninguna información suplementaria.

RESULTADOS

Los modelos desarrollados solamente tendrán validez para estimaciones de cereal en secano. Los principales resultados obtenidos y que son comentados a continuación están reflejados en la tabla 1.

		1996	Variación %
Modelo general	AVILA		6,9
	BURGOS		10,5
	LEÓN		14,4
	PALENCIA		9,1
	SALAMANCA		-3,8
	SEGOVIA		0,3
	SORIA		-4,2
	VALLADOLID		-3,4
	ZAMORA		-5,1
	CyL		2,4
	Media provincial		6,4
		1996	Variación %
Modelo Simple	AVILA		-2,4
	BURGOS		-2,1
	LEÓN		8,1
	PALENCIA		7,6
	SALAMANCA		-12,8
	SEGOVIA		-6,3
	SORIA		-6,4
	VALLADOLID		-4,9
	ZAMORA		-3,0
	CyL		-1,7
	Media provincial		5,9

Tabla 1- Variación porcentual de las estimaciones respecto a las encuestas oficiales para el año 1996.

La aplicación de límites de integración para las variables basados en estadios o fases del ciclo fenológico del cultivo nos va a permitir aplicar el modelo independientemente de lo adelantado/atrasado que vaya el cultivo en años subsiguientes. Por el contrario, la aplicación de límites de integración estrictamente temporales solamente podrá llevarse a cabo en aquellas zonas donde el cultivo se desarrollara de forma paralela año tras año.

A partir de los modelos propuestos se han llevado a cabo una serie de estimaciones para contrastarlas con los datos reales. En dichas estimaciones se han incluido datos que no se han utilizado en el desarrollo del modelo.

Los resultados obtenidos nos muestran una variación de las estimaciones respecto a los rendimientos oficiales menor al 7% para la media provincial y menor al 3% para la autonómica.

Los resultados obtenidos para la provincia de León no son fiables debido al escaso número de datos de la provincia.

También se observa como las mayores variaciones se encuentran en las provincias más al norte o más al sur. Hay que tener en cuenta que normalmente hay un desfase de un mes en el desarrollo del cultivo de una provincia del norte de la comunidad a una del sur. Estas diferencias en los ciclos fenológicos provocan que los resultados más desfavorables se encuentren en estas provincias, mientras que en las provincias centrales las variaciones de los resultados son mínimas.

Las estimaciones del modelo general, aunque son ligeramente peores que las obtenidas con el modelo simple están hechas partiendo de un modelo creado con datos de dos años solamente, en contraste con los seis años usados en el modelo general, lo que pone de relieve el potencial de este modelo.

Las características tanto del modelo como de los datos con que se alimenta permiten su integración en un GIS, pudiendo desarrollar mapas de rendimientos para la Comunidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consejería de Agricultura de Castilla y León junto al MAPA el haber facilitado las encuestas de rendimientos de cultivos de la Comunidad.

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 Romana. Remote Sens. Environ. 45, 311-326

Delgado, J. A., Terrab, R., Illera, P. y Casanova, J. L. (1997). Estimación del rendimiento de la cosecha de cereal mediante imágenes NOAA y datos meteorológicos. Teledetección aplicada a la gestión de los recursos naturales y medio litoral marino, pp. 74-77. ed. Asociación Española de Teledetección y Universidad de Santiago de Compostela.

Illera, P., Delgado, J. A., Fernández Manso, A. y Fernández Unzueta, A. 1998. Sistema de información geográfica agrometeorológico para el seguimiento de la vegetación en castilla y león: diseño y primeras aplicaciones. Revista de teledetección. Diciembre-1998, nº10, 5-18.

Terrab, R. 1997. Estimación de cosechas de cereal mediante imágenes de satélites y datos meteorológicos. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid

Terrab, R., Delgado, J. A., Illera, P. and Casanova, J. L. (1997) Combined use of NOAA-AVHRR and Meteosat images with other data for the estimation of cereal crop yield. Proc. 1997 Meteorological Satellite data users' conference, pp. 467-471. Ed. EUMETSAT.