TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 1999. pp. 205-208.
Editores: Santiago Castaño Fernández y Antonio Quintanilla Rodenas

SISTEMA DE ESTIMACIÓN DE COSECHAS DE CEREAL: CEREAL Y.E.S.

J.L. Meilán Paz y B.J. Denore

jlmeilan@iies.es, bdenoreb@nexo.es

Asesores de IBERSAT.SA. http://www.ibersat.com

Resumen: Cereal YES es un proyecto financiado por el CEO (Comisión Europea), que tiene el objetivo de proporcionar estimaciones de cosecha para los cultivos de cereal a escala comarcal, mejorando los niveles de error asociados con los métodos de estimación usados hasta la fecha y permitiendo disponer de datos en los momentos en que el usuario final los demande. Está basado en un modelo agrometeorológico de crecimiento y desarrollo fenológico de los cereales, compuesto por dos módulos complementarios: 1) análisis del balance de agua y, 2) análisis de la radiación recibida por la vegetación, en el que una de las variables de cálculo está asociada a la respuesta espectral de los cultivos objetivo. Las imágenes base utilizadas provienen de satélites de alta resolución (SPOT e IRS), combinadas con imágenes tomadas por sensores de menor resolución espacial (IRS-WiFS).

Resume: Cereal YES is a CEO funded project (European Commission), which main objective is the area and yield forecasting for cereals in a district or "comarcal" (group of municipalities) geographical scale, with better accuracy than the actual prediction methods obtain. The system will also provide data at any moment end user ask for them. Cereal YES is based on a cereal growth and phenologic development agrometeorological model, composed by two complementary modules: 1) water availability for crop analysis and, 2) incident radiation on vegetation analysis. In this second module, one of the input variable is associated with cereal spectral response, trough the relation between ground obtained Green Area Index and satellite data based vegetation index . The system uses satellite with high spatial resolution (SPOT, IRS) in combination with lower spatial resolution imaginery, as ISR-WiFS.

Palabras clave: modelo agrometeorológico, cereales, sensores de alta resolución, estimación de cosechas.

INTRODUCCIÓN

El proyecto Cereal YES (Sistema de Estimación de Cosechas de Cereal) tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema piloto para la estimación de superficies y rendimientos de cosechas de trigo y cebada para la Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León (JCL).

El sistema, que se basa en un modelo agrometeorológico de crecimiento y desarrollo fenológico de los cereales, utiliza como una variable más de entrada la respuesta espectral del cultivo, definida por una serie multitemporal de imágenes de satélite de alta y media resolución espacial. De esta manera se producen predicciones de cosechas fiables, rápidas y objetivas. El fin último de esta información es ayudar a la toma de decisiones en la aplicación de las políticas agrarias vigentes.

Cereal YES entra en el grupo de proyectos que usa la información procedente de los satélites como una variable más dentro de un sistema de información ligado al entorno físico, no sólo como base cartográfica o de análisis de superficies según usos.

Es un proyecto de acción de costes compartidos, financiado en parte por el programa I+D de Medio Ambiente de la Comisión Europea. Es uno de los proyectos que recibe el apoyo de la Comisión a través de su Centro para la Observación de la Tierra (CEO) y que tiene como objetivo demostrar la utilidad de los datos de teledetección para crear productos y servicios en la gestión medioambiental. El proyecto se inició en 1.997 y se terminará a finales del presente año 1.999. Las campañas agrarias de 1.997 y 1.998 han permitido desarrollar y calibrar prototipos, demostrando la viabilidad técnica del proyecto. A lo largo de la presente campaña agraria se está perfeccionando el sistema para satisfacer mejor las exigencias del usuario, trabajando sobre todo en la entrega de estimaciones inmediatas.

El equipo de trabajo de Cereal YES está compuesto por cuatro socios, dos españoles y dos británicos:

-Ibersat SA, como coordinador del proyecto.
-Junta de Castilla y León, como usuario final.
-Univ. Nottingham, UK, desarrollando el modelo.
-Logica Space UK, desarrollando los sistemas informáticos.

El área de actuación es la zona palentina y vallisoletana de Tierra de Campos. Esta comarca administrativa es una de las de mayor producción cerealista de Castilla y León, que a su vez está entre las unidades administrativas europeas de mayor superficie, y el principal productor de cereales en España. El usuario final, la Junta de Castilla y León,

tiene plena autonomía en la toma de decisiones que puedan afectar al proyecto.

EL PROYECTO CEREAL YES

Los objetivos del proyecto son:

-Predicción de cosechas de trigo y cebada temprana y tardía a escala de comarca agraria, por agregación desde los datos municipales.
-Error máximo de la estimación a escala municipal del 10%, que se rebajará por agregación al nivel comarcal y se hará mínimo al provincial.
-Presentación mensual de resultados antes de Mayo y quincenal a partir de esa fecha.

Los datos de entrada del sistema (meteorología, suelo,...) tienen una base municipal, agregándose para la caracterización comarcal.
En la implementación del sistema base del Cereal YES se diferencian los siguientes componentes, interrelacionados entre sí de manera iterativa:

-Subsistema agromodelo
-Subsistema procesado de imágenes
-Subsistema bases de datos
-Subsistema información

SUBSISTEMA AGROMODELO

El análisis de bibliografía y modelos aplicados en la actualidad en diversas zonas europeas fue la base de partida, prestando especial interés a los trabajos del JRC, de la Comisión Europea (1,2,3). Casi todos los modelos implementados hasta la fecha definen una curva de crecimiento ideal que se ve limitada por factores de producción, principalmente luz y agua; en la práctica agrícola común se supone que otros factores tales como nutrientes, laboreo, variedades sembradas y otros parámetros culturales cumplen los mínimos admisibles para no ser factores limitantes en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En una primera adaptación de los modelos existentes a las condiciones de Castilla y León, fue preciso modificar la principal limitación del crecimiento, que en paises del centro y norte de Europa es la luz, por el agua, principal causa de pérdida de producción potencial en España y en el resto de paises del sur de Europa.
Tras esa primera fase de búsqueda de antecedentes, se llegó a la conclusión de desarrollar un modelo propio adaptado a la zona; la ausencia de datos de entrada que sí existen en otros lugares en los que son aplicados los modelos citados, hizo imposible su adaptación. Esta ausencia es consecuencia del carácter local del Cereal YES: por ejemplo, en la zona de Tierra de Campos sólo existe una estación meteorológica automática que permita disponer de datos en un intervalo de tiempo aceptable desde su registro. Tampoco las variables edafológicas de esta comarca estaban definidas con el suficiente nivel de detalle requerido (por ejemplo, total ausencia de datos sobre la capacidad de retención de agua de los suelos). Los modelos desarrollados que están utilizándose hasta la fecha tienen una escala de aplicación nacional e incluso supranacional, lo que permite disponer de variadas fuentes de datos extrapolables a la totalidad de un territorio común.
El modelo desarrollado tiene como datos de entrada valores de temperatura, radiación, precipitación y características edáficas, junto al índice de vegetación obtenido a partir de las imágenes de satélite. Los resultados son curvas de crecimiento (Figura 1) que muestran el crecimiento potencial que se podría obtener por luz disponible (LLP), agua disponible (WLP) y el crecimiento real (Growth).

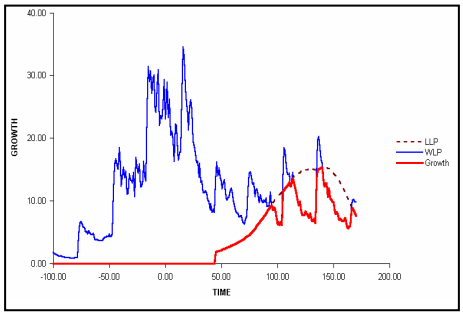

Figura 1: Representación de crecimientos potencial y real del cultivo

El software usado para el cálculo de las curvas es ModelMaker (Oxfrod, Cherwell Scientific), programa que permite variar fácilmente los parámetros establecidos para cada función en el proceso de cálculo, tanto relaciones existentes entre variables como constantes elegidas (Figura 2). De

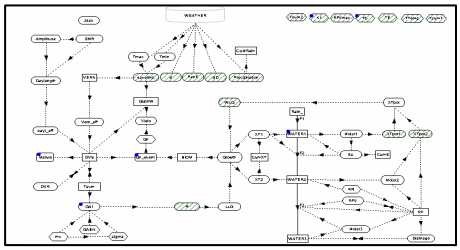

Figura 2: Ejemplo de funciones del modelo

esta forma la calibración del modelo es inmediata. Las estimaciones de cosechas se dan para tres

cultivos: trigo, cebada de siembra temprana y cebada de siembra tardía, tanto en el estrato de regadío como en el de secano.
El resultado final de este subsistema es la creación de curvas de acumulación de biomasa y de ahí, la estimación de la producción de grano para cada clase de cultivo objetivo, usando para ello las relaciones grano/paja.

SUBSISTEMA DE PROCESADO DE IMÁGENES

La escala de trabajo implica utilizar imágenes de alta resolución espacial, nunca menor de 25 metros. Se ha optado por dos soluciones alternativas:

- SPOT XS, sensores HRV y HRVIR
- IRS 1-C, sensor LISS-III

Estos sensores se complementan con el IRS-1C WiFS, de mayor tamaño de píxel pero que con sus dos bandas en el rojo (.62-.68 µm) y el infra-rojo próximo (.77-.86 µm) permite el cálculo de índices de vegetación.
El problema generado por la distinta sensibilidad espectral de los diferentes sensores se soluciona trabajando, en una misma campaña, con un mismo sensor de alta resolución espacial, que se complementa en los períodos intermedios con el WiFS. De todos modos, la solución óptima sería poder utilizar siempre el IRS, ya que su relación superficie cubierta-coste es la mejor. Otro punto a su favor es la toma de imágenes desde el nadir, lo que facilita la corrección geométrica en menos tiempo. En su contra, una menor resolución temporal.
Se ha estimado un mínimo de cuatro imágenes de alta resolución espacial para determinar el estado de los cultivos de cereal, según el siguiente esquema:

- Primera imagen en Noviembre, para discriminación de cultivos permanentes;
- Segunda en Marzo, diferenciadora de ciclos de invierno y primavera;
- Tercera en Mayo, con la obtención de índices de vegetación
- Cuarta en Julio, que permitirá la discriminación de los cereales del resto de los cultivos anuales.

Los períodos intermedios entre las fechas de adquisición de estas imágenes se cubren con las escenas WiFS disponibles, para obtener los índices de vegetación que, introducidos en el modelo agrometeorológico, permitirán corregir la curva normal del índice de área verde foliar (GAI). En el caso de uso mixto LISS III-WiFS, el espectro cubierto para el rojo y el infra-rojo tiene los mismos valores.
La calibración de la relación entre respuesta espectral obtenida y estado de la vegetación se realiza con los datos obtenidos en campo. Se plantea un muestreo de parcelas de cereales en cuatro momentos del ciclo del cultivo. De este modo se obtiene la correlación existente entre el índice de vegetación y el GAI. Altas correlaciones implican una correcta interpretación de la verdad del terreno según los datos que proporciona el satélite.
En las siguientes figuras (Figura 3 y Figura 4) se presentan, para algunos de los campos de muestreo, la relación entre el GAI obtenido por muestreo y el índice de vegetación que proporcionaron las imágenes.

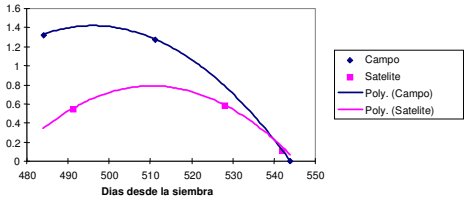

Figura3. Campo 2 - Trigo.

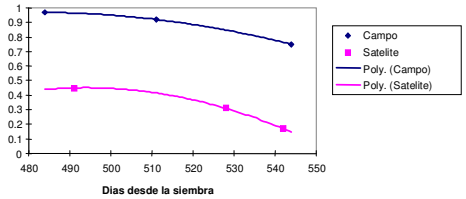

Figura4: Campo 3 – Trigo.

SUBSISTEMA BASES DE DATOS

La base de datos almacena toda la información requerida sobre cultivos, suelo y clima del ciclo actual y de la serie histórica disponible. También incluye imágenes de satélite disponibles para la campaña en forma de *quicklooks* agrupados según coordenadas, cobertura nubosa, tipo de sensor y fechas.
A lo largo del ciclo del proyecto se realizan muestreos de los horizontes del suelo para conocer las curvas características de retención del agua, base del cálculo de disponibilidad de agua por parte del cultivo. Los parámetros climáticos necesarios también fueron objeto de estudio, con el fin de conocer qué variables recogidas en la estación automatica de la zona son representativas para el total del área de estudio, y seleccionar estaciones meteorológicas para los no representados.
El uso de estos datos actuales e históricos permite completar la curva de crecimiento desde la siembra hasta la recolección. Ejecutando en una fecha determinada el modelo, hasta ese día se trabajará con datos actuales, y a partir de él con datos históricos. De esta manera se compara la situación del año en curso con la del año medio, valor poco real pero útil para fines administrativos (Figura 5).

Jda	Tmin	Tmax	Solra (Mj/da	Rain	SD	Dat	Sour
0	9.7218	9.7256	5.0	0	1.2050	01-Jan-	Meteo.
1	4.2950	5.7314	6.7	0	0.8956	02-Jan-	Meteo.
2	0.2101	9.2711	8.3	1.	1.0316	03-Jan-	Meteo.
3	9.058	11.439	5.3	9.	1.3013	04-Jan-	Meteo.
4	5.2382	7.173	10.3	5.	0.9817	05-Jan-	Meteo.
...	...	...	...	...	...	...	...
14	11.152	20.073	32.	0	2.0927	26-May-	Meteo.
14	13.299	23.211	32.	0	2.5155	27-May-	Meteo.
14	14.403	22.082	22.2	0	2.402	28-May-	Meteo.
14	14.174	22.209	19.9	0	2.4121	29-May-	Historic
14	14.817	27.425	24.0	0	3.1626	30-May-	Historic
15	17.193	27.570	30.5	0	3.2549	31-May-	Historic
15	16.635	25.151	30.	0	2.8702	01-Jun-	Historic
15	9.9791	16.486	30.7	0.0	1.7127	02-Jun-	Historic
15	7.7275	14.444	29.8	0.	1.4967	03-Jun-	Historic

Figura 5: Presentación tabular de resultados

El acceso a la base de datos estará diferenciado por niveles de usuario, permitiendo edición y consulta según permisos.

SUBSISTEMA INFORMACIÓN

Finalmente, la integración de los tres subsistemas comentados dentro de un sistema de información geográfica permite la representación espacial, gráfica y tabular de los resultados, pudiendo ser integrados con otras fuentes de información de la Junta de Castilla y León.
Mediante una leyenda explicativa se mostrarán en un mapa los rendimientos esperados por término municipales, que agregados darán los valores comarcales (Figura 6).

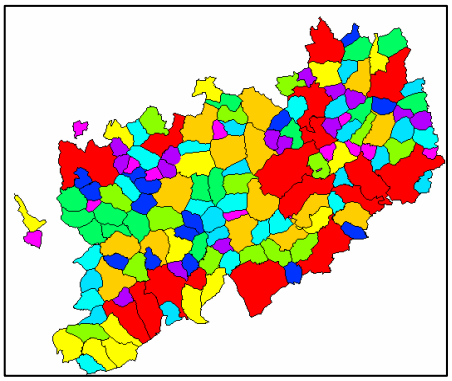

Figura 6: Produccciones estimadas por municipios

Por extensión también es posible ver la ocupación del suelo por grupos de cultivos o cualquier otra consulta que pueda combinar superficies, usos de suelo y producciones esperadas o los componentes de ese dato (biomasa, producción de grano, índices foliares, etc.).

CONCLUSIONES

Las estimaciones de rendimientos y superficies de los años 1.997 y 1.998 han demostrado que los sensores de alta resolución temporal y espacial son los más indicados para un trabajo de estimación de cosechas a escala municipal y comarcal. Éstos se complementan en fechas intermedias con información de sensores con menor resolución espacial, que cubran las longitudes de onda correspondientes a rojo e infra-rojo para el cálculo de índices de vegetación.
La escala de trabajo también fuerza a la elección de un tipo de modelo agrometeorológico adecuado a la zona, no sirviendo los más generalistas, por ejemplo los utilizados a escala europea. Con el fin de adaptar el modelo desarrollado a distintas comarcas, es necesario que sea posible variar fácilmente los algoritmos de cálculo de cada componente modelable. Este hecho también facilita el calibrado.
La obtención de datos de entrada en este tipo de proyectos debe ser estimada y cuantificada cuidadosamente; desgraciadamente hay pocas zonas de España que tengan caracterizados los parámetros climáticos y edafológicos necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Supit I., Hooijer A.A., van Diepen C.A.;1994 - System description of the WOOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Vol 1: Theory and algorithms. JRC, E.C. Luxembourg.
- Vossen P., Rijks D. et al.; 1995 – Early crop yield assessment of the EU countries: the system implemented by the Joint Research Centre. JRC, E.C. Luxembourg.
- Dallemand J.F., Vossen P. (ed.); 1995 – Agrometeorological models: theory and applications in the MARS project. Proceedings Ispra meeting 21.25 Nov 94. JRC E.C., Luxembourg