

EL SISTEMA DE VIGILANCIA Y ALERTA TEMPRANA DE SITUACIONES DE SEQUÍA AGRÍCOLA DEL M.A.P.A. A PARTIR DEL ANÁLISIS DE DATOS DIARIOS NOAA-AVHRR

V. FLORES (*), A. CAMPANERO (**) y R. ESCUDERO (**)

Vfloresr@mapya.es

(*) *Subdirección General de Cultivos Herbáceos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Av. Ciudad de Barcelona, 6. 28007 MADRID.*

(**) *Tecnologías y Servicios Agrarios S.A. c/Conde de Peñalver 84. 28006 MADRID*

RESUMEN: La Subdirección General de Cultivos Herbáceos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación realiza, desde 1994, el seguimiento de la evolución anual de los cultivos de secano y pastizales, con especial atención a la detección y localización de situaciones de sequía a partir, fundamentalmente, de la información proporcionada por los índices de vegetación (NDVI) generados con imágenes de satélite diarias NOAA-AVHRR. La metodología empleada tiene su base en la comparación de los valores medios mensuales y acumulados del índice NDVI a lo largo de la campaña agrícola (enero a junio) y a escala comarcal con los correspondientes al 'año medio', obtenidos como media de toda la serie de años de los que se disponen imágenes (1991 a 2000). El resultado obtenido de la ejecución de este trabajo es el desarrollo de un SIG capaz de integrar de manera rápida y eficaz un volumen elevado de imágenes de índices de vegetación con cartografía temática de divisiones administrativas y usos del suelo, para realizar un diagnóstico comarcal sobre el estado y evolución de los cultivos de secano y pastizales, así como de la aparición y evolución en el espacio y tiempo de situaciones de sequía.

ABSTRACT: The Ministry of Agriculture, Fishery and Food of Spain is carrying out, since 1994, the non-irrigated crops and pastures annual monitoring, paying special attention to detect and locate draught conditions. This monitoring is based on the use of the information provided by the vegetation index (NDVI) generated from NOAA-AVHRR satellite images. The methodology consists basically in comparing the mean monthly and accumulated NDVI throughout the agricultural season (January to June) at a comarcal level with the 'average year' NDVI, obtained as a mean of the whole series of images (1991 to 2000). The result is the development of a geographic information system capable to integrate quick and efficiently a great volume of NDVI images with thematic cartography (administrative units, land use) to diagnose the status and evolution of the non-irrigated crops and pastures at a comarcal level, as well as to detect and monitor draught conditions.

Palabras clave: sequía, vegetación, teledetección, agricultura, NOAA-AVHRR, NDVI.

ANTECEDENTES Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

Desde 1994, la Subdirección General de Cultivos Herbáceos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación realiza el seguimiento mediante teledetección de la evolución anual de los cultivos de secano y pastizales, con especial atención a la detección y localización de situaciones de sequía. La información empleada como fundamento del estudio es la proporcionada por los índices de vegetación (NDVI) generados con imágenes de satélite diarias NOAA-AVHRR.

La metodología empleada parte de la comparación de los valores medios mensuales y acumulados del índice

NDVI a lo largo de la campaña agrícola (enero a junio) y por comarca agraria, con los correspondientes al 'año medio', obtenidos como media de toda la serie de años de los que se disponen imágenes (1991 a 2000). Durante los primeros años del estudio, al no disponer de una serie temporal de imágenes suficiente, se empleó 1991 como año de referencia, pues se consideraba como un año «normal» y sin sequía para la mayoría de las comarcas españolas.

El ámbito del estudio comprende la mayoría del territorio español, excluyendo las comunidades autónomas en las que los cultivos de secano no son importan-

tes o no padecen nunca situaciones de sequía (Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco e Islas Canarias).

Además de los índices de vegetación se emplean diversas fuentes de información adicionales para verificar y completar los resultados del estudio y se realizan visitas de campo a las zonas donde se presentan dudas razonables sobre su situación. Como información auxiliar para el diagnóstico de las diferentes zonas, se revisan los datos decenales de precipitación y balance hídrico de la red de estaciones automáticas publicados por el Instituto Nacional de Meteorología, así como boletines agrarios publicados por algunas Comunidades Autónomas.

La empresa encargada de la ejecución de los trabajos desde 1994 ha sido **Tecnologías y Servicios Agrarios S.A.** Para ello se ha diseñado una metodología basada en el desarrollo de una aplicación informática sobre el Sistema de Información Geográfica ARC-INFO en Windows-NT, complementada con el proceso de diferentes bases de datos con MS Access, cuyo principal objetivo es el diagnóstico de las zonas afectadas por sequía u otros problemas (heladas, inundaciones, etc.).

A partir de la comparación con el año medio de los índices mensuales y acumulados medios por comarca, se realiza mensualmente un diagnóstico automático sobre la evolución del secano y pastizal en las distintas comarcas analizadas, seguido de un diagnóstico por fotointerpretación sobre pantalla. Al final de la campaña, se realiza un diagnóstico definitivo comarca a comarca del desarrollo de los cultivos durante la misma en todas las comarcas.

El resultado obtenido de la ejecución de este trabajo ha sido el desarrollo de un sistema capaz de integrar de manera rápida y eficaz un volumen elevado de imágenes de índices de vegetación, con cartografía temática de divisiones administrativas y usos del suelo dentro de un SIG para la realización de un diagnóstico comarcal sobre el estado y evolución de los cultivos en secano y pastizales, así como de la aparición y evolución en el espacio y tiempo de situaciones de sequía.

FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

La Organización Meteorológica Mundial dio en 1986, a petición del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, la siguiente definición de sequía: «hay sequía en una región cuando la precipitación anual es inferior al 60% de la media durante más de dos años consecutivos en más de un 50% de su superficie». Supone esto que los ecosistemas y los sistemas productivos pueden resistir una disminución de la precipitación de un 40% durante un año, pero se ven seriamente afectados cuando el fenómeno se repite durante dos o más años consecutivos.

Sin embargo, poco tiene que ver esta definición meteorológica de la sequía con el concepto de sequía agronómica manejado en el presente estudio, en tanto que este último tendrá en cuenta la escasez de precipitaciones únicamente cuando afecte al desarrollo y fructificación de los cultivos de secano y pastizales. Por esta razón la evaluación de rendimientos supone una buena medida indirecta de la existencia o no de situaciones de sequía a lo largo del período vegetativo.

En nuestro país, unos buenos rendimientos en secano son consecuencia de la precipitación, no sólo en su aspecto cuantitativo sino, de forma muy importante, en el cualitativo, entendido por su oportunidad en el tiempo, es decir, su adecuada distribución a las diferentes fases fenológicas del cultivo. Por ello se comprende fácilmente que la sequía agronómica no tiene por qué coincidir con la meteorológica antes enunciada.

Los datos meteorológicos convencionales, recogidos con carácter puntual en la red de estaciones, hacen difícil el seguimiento del estado de los cultivos, en especial su variabilidad geográfica. Puede afirmarse que el seguimiento continuado de los cultivos a lo largo de su ciclo fenológico, necesario para el estudio y evaluación de fenómenos como la sequía agronómica a escala global, hoy solamente puede realizarse de manera precisa y económica a través de los datos de Teledetección ofrecidos por los satélites meteorológicos debido a tres causas fundamentales: la frecuencia diaria de sus observaciones, el permitir realizar estudios a escala global debido a su resolución espacial y la adecuación de los sensores que transportan a bordo.

De ellos, el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), a bordo de la serie de satélites americanos NOAA, es el que ha demostrado una mayor idoneidad para estos estudios debido a su resolución espacial de 1 km² en el nadir y su alta frecuencia en resolución temporal con varias pasadas diarias sobre la Península, lo que es muy conveniente para la realización de análisis que requieran una evolución temporal. Por este motivo, con imágenes NOAA-AVHRR es fácil obtener un compuesto semanal de España prácticamente libre de nubes como los utilizados en el presente trabajo.

Los sensores que incorporan esta larga familia de satélites han ido evolucionando con el tiempo. Hay en día conviven el NOAA14 con el reciente NOAA16.

Además del sensor AVHRR los NOAA embarcan la sonda TOVS. Esta permite determinar, entre otras cosas, los perfiles verticales de temperatura y humedad. A partir de los datos TOVS es posible introducir el efecto de la atmósfera sobre la señal recibida por el satélite, lo que se conoce como «Corrección radiométrica». Es decir, permite eliminar el efecto de la inclinación del

satélite o de la posición del Sol, e incluso el estado de la atmósfera, de tal forma que las medidas de sucesivas pasadas del satélite sean comparables entre sí, aun cuando se hayan realizado en condiciones muy diversas, únicamente en el caso de que haya una capa de nubes, las observaciones no son posibles.

Por su parte, el sensor AVHRR empleado en el presente estudio, consta de cinco canales de medida en el espectro electromagnético, situados sobre el visible en la banda del rojo (0.58 - 0.68 μm), el infrarrojo cercano (0.72 - 1.10 μm), el infrarrojo medio (3.55 - 3.93 μm) y, los dos últimos, sobre el infrarrojo térmico (10.30 - 11.30 y 11.50-12.50 μm respectivamente).

Son precisamente los dos primeros canales los que han resultado ser enormemente valiosos para el estudio de la vegetación, ya que en la región del rojo los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la luz que reciben para la realización de la función clorofílica. Debido a la fuerte absorción, la vegetación sana o con fuerte vigor presenta los mínimos de reflectividad generalmente en la banda del rojo, mientras que para el infrarrojo cercano la vegetación sana o vigorosa presenta sus máximos de reflectividad. En este principio se basan la mayoría de los llamados «índices de vegetación» que combinan la banda roja del visible con la del infrarrojo cercano. Quiere esto decir que cuanto mayor sea la diferencia entre los valores de estos dos canales espectrales mayor vigor presentará la cubierta vegetal observada y viceversa.

El índice de vegetación utilizado en el presente estudio es el conocido como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) o «Índice de Vegetación Normalizado», cuya expresión es:

$$NDVI = \frac{(ALB2 - ALB1)}{(ALB2 + ALB1)}$$

siendo ALB el albedo del canal correspondiente.

La conversión de los valores digitales relativos de las bandas roja e infrarroja a valores de albedo, previa corrección atmosférica de las bandas, es necesaria para la comparación multitemporal de las diferentes imágenes utilizadas, de lo contrario el NDVI representaría sólo una valoración relativa.

Como han demostrado infinidad de estudios, este índice es sensible al vigor de la vegetación y por tanto a la actividad fotosintética. Al NDVI se le considera un indicador ligado a la tasa de recubrimiento vegetal del suelo, a la cantidad de biomasa y al estado general de la vegetación.

Desde inicios de los ochenta ha habido renombrados trabajos dedicados a evaluar la utilidad del NDVI para el seguimiento global de la vegetación y el estudio

de zonas con sequía. Los datos más utilizados han sido los de síntesis contruidos a partir de los valores máximos de NDVI en períodos de cinco a diez días. A partir de estas síntesis es posible construir la curva de evolución del NDVI a lo largo de la campaña agrícola, la cual define perfectamente los sucesivos estadios fenológicos de la planta: germinación, desarrollo, maduración y desaparición. El interés de estas series de NDVI es evidente para el estudio de zonas semiáridas afectadas por problemas de sequía al permitir el seguimiento de la dinámica de la cubierta vegetal y de su desarrollo, así como su heterogeneidad espacial a lo largo del período fenológico y hacer una caracterización del mismo mediante la comparación de los valores de NDVI de esa misma zona con los de otros años de referencia. Es ésta la filosofía que ha seguido el trabajo que ahora presentamos.

METODOLOGÍA

La metodología seguida en este estudio consta de las siguientes fases:

—Obtención de índices de vegetación (NDVI) a partir de imágenes NOAA-AVHRR

La captura de imágenes diarias, su corrección y la generación de índices de vegetación ha sido realizada por el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid desde 1994. Las imágenes de años anteriores se obtuvieron de los observatorios de Lannion (Francia) y Maspalomas. Todas las imágenes capturadas fueron sometidas a un proceso de corrección incluyendo la eliminación de nubes, calibrado, correcciones atmosféricas y correcciones geométricas. A continuación se procedió a generar las imágenes de síntesis: compuestos de máximas semanales excepto para los tres primeros años que, por la escasez de imágenes, se obtuvieron máximas quincenales.

A partir de los compuestos semanales y quincenales, se realizaron medias mensuales de NDVI, que han sido el instrumento básico de comparación interanual, junto con las medias acumuladas que se describen en el siguiente párrafo.

—Obtención de índices de vegetación acumulados

En un sistema cuya finalidad es el seguimiento de la evolución anual de los cultivos y aprovechamientos basándose en comparaciones entre el año de estudio y otros de referencia, es muy importante destacar que los ciclos vegetativos de los cultivos pueden variar considerablemente de un año a otro para una misma zona. Los motivos son variados: de un año a otro pueden sembrarse distintas variedades de un mismo cultivo cuyos calendarios fenológicos no coincidan, bien por requerir distintas condiciones climáticas para alguna o varias de sus etapas de desarrollo, o bien por poseer distinta dura-

ción del ciclo vegetativo lo que normalmente implicaría una fecha de siembra distinta. Por otra parte, para una misma variedad, los calendarios fenológicos varían de un año a otro dependiendo de las características climáticas particulares del año

Por ello parece más adecuado comparar interanualmente índices de vegetación acumulados (desde el inicio del ciclo hasta la fecha de estudio) que índices mensuales en los que a priori los cultivos no tienen porque encontrarse en la misma etapa de desarrollo. Los índices acumulados, antes o después, terminan por compensar las diferencias derivadas de desfases en los ciclos vegetativos, mientras que para que los índices mensuales sean efectivos se requiere conocer de antemano el estado de desarrollo de los cultivos en cada año de estudio.

No obstante, los índices semanales y mensuales también tienen un gran interés, pues permiten detectar la aparición de fenómenos climáticos atípicos como heladas, granizos, etc., así como la persistencia de nubes bajas y/o nieve en las imágenes, o detectar pequeños efectos temporales negativos de estrés hídrico que aunque sean recuperables para los cultivos de secano, pueden suponer pérdidas en aquellos pastizales y cultivos forrajeros cuyo aprovechamiento por el ganado se realiza de forma continua.

—Obtención de índices de vegetación medios por comarca y estrato

Se obtienen de la intersección de los índices de vegetación con la cartografía de límites administrativos (comarcas agrarias) y de usos del suelo (dividida en cuatro clases: secano y pastizales, regadío, forestal e improductivo). Estos índices medios presentan la ventaja de poderse comparar de forma muy satisfactoria de un año a otro puesto que la «comarca agraria» es una unidad bastante homogénea desde el punto de vista agroclimático. En definitiva, comparando índices de vegetación medios por comarca y estrato se aseguran comparaciones sobre ocupaciones del suelo muy similares puesto que las comarcas agrarias suelen presentar usos homogéneos dentro de cada tipo de aprovechamiento y además, al trabajar sólo sobre los cultivos de secano y pastizales (estrato predominante en España) se evitan problemas debidos a cambios en las prácticas culturales desarrolladas en los regadíos o disminuciones de dotaciones de agua, desaparecen las inercias en la evolución de los índices de vegetación como consecuencia de la existencia de masas arboladas y, al eliminar los bosques y matorrales, se elimina la mayor parte de las grandes zonas incendiadas que pueden perturbar la interpretación de los índices.

—Obtención de diferencias de índices de vegetación mensuales y acumulados

El método a seguir consiste fundamentalmente en la comparación interanual de índices de vegetación, por ello es necesaria la obtención de las diferencias entre los índices de vegetación del año en curso y los de los años de referencia, tanto para los índices mensuales como para los acumulados.

—Diagnóstico de la evolución de los cultivos

Mensualmente, se realiza la comparación —las diferencias— entre los índices del año en curso y los de la media. De esta forma se localizan las zonas que presentan problemas de desarrollo de los cultivos y se intenta averiguar su origen: sequía, retraso de los ciclos, heladas, dificultades de nascencia, etc. Se efectúan visitas a campo para contrastar el diagnóstico o resolver dudas cuando se considera necesario, generalmente a partir del mes de marzo. Finalmente, en los dos últimos meses de la campaña (junio y julio) se realiza el diagnóstico definitivo empleando los índices acumulados hasta mayo o hasta junio, dependiendo de las zonas (en zonas más tempranas del sur de España se acumulan solamente hasta mayo). En primer lugar, se realiza un diagnóstico automático basado en los valores medios de NDVI por comarca clasificándolas en:

- **Comarcas con impacto negativo:** son aquellas afectadas por la sequía (u otras causas). El NDVI del año en curso es inferior al del año medio en más de un 2,5%.

- **Comarcas con impacto nulo o débil:** presentan una evolución de los cultivos similar a la del año medio. El NDVI del año en curso es superior al del año medio en un 5 a 10%.

- **Comarcas con impacto positivo:** la evolución de los cultivos en el año en curso es significativamente mejor que en el año medio. El NDVI del año en curso es superior al del año medio en más de un 10%.

- **Comarcas dudosas:** el resto.

Finalmente, este diagnóstico se completa con un diagnóstico por fotointerpretación sobre pantalla, en el que el fotointérprete revisa todo el diagnóstico, con especial atención a las comarcas clasificadas como dudosas, con objeto de situarlas en alguna de las otras tres categorías. Cuando se considera necesario, generalmente en casos en que es difícil clasificar una comarca concreta pues presenta situaciones muy dispares en distintas zonas, se divide dicha comarca clasificando con impacto negativo sólo una parte de la misma. En la figura 1 se puede ver el diagnóstico definitivo realizado para la campaña 1999-2000.

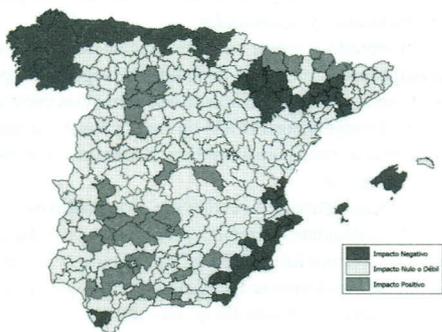


Figura 1. Diagnóstico del impacto de la sequía en la campaña 1999-2000.



Figura 2. Diferencias de NDVI acumulados de enero a junio entre el año 2000 y el año medio.
(Ver figura en color en página 668)