

ESTADO DE LA VEGETACION Y RENDIMIENTOS DE MAIZ EN LA PROVINCIA DE CORDOBA EVALUADOS MEDIANTE DATOS NOAA-NDVI

R. A. Seiler

Departamento de Ecología Agraria - Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto - CONICET Ruta Nac. 36, km 601 5800 Río Cuarto - Cba
Email: rseiler@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

El índice de vegetación NDVI (Normalized difference vegetation index) derivado de sensores de satélites NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer), ha demostrado ser un medio eficiente y objetivo para la evaluación espacial y temporal de las condiciones de la vegetación y de los cultivos en grandes regiones. Basado en esta potencialidad, el presente estudio consistió en la aplicación del NDVI en la provincia de Córdoba, para la determinación de la variabilidad del estado de la vegetación y de los rendimientos de maíz. A partir de datos semanales de NDVI de 16 km² de resolución y del período 1985/94, se calcularon promedios semanales departamentales del índice y las correspondientes anomalías del mismo como desvíos de las medias de la serie, para cada uno de los departamentos de la Provincia. Para el mismo período se dispuso de una serie de datos de rendimientos de maíz por departamentos. Las anomalías del NDVI durante el período primavera-otoño, analizadas para varios departamentos, mostraron la variabilidad anual e interanual del estado de la vegetación. Respecto de los rendimientos de maíz, un 76 % de la variabilidad de los mismos fue explicada por esas anomalías. Los resultados obtenidos demostraron la aplicabilidad del índice en la provincia de Córdoba y la potencialidad de incluir este tipo de datos satelitales para evaluar el rendimiento de cultivos de maíz.

Palabras clave: satélites en agricultura, evaluación de vegetación, índice verde, pronóstico rendimientos

VEGETATION CONDITIONS AND YIELDS OF CORN IN THE PROVINCE OF CORDOBA- ARGENTINA EVALUATED BY NOAA-NDVI DATA

SUMMARY

The AVHRR-based Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from NOAA satellites has shown to be an efficient and objective means for temporal and spatial monitoring of the vegetation conditions and crop assessments over large regions. Based on that potential, this research was aimed to apply the NDVI in the province of Córdoba - Argentina to assess the variability in the state of the vegetation and corn yield. From the weekly 16 km² resolution NDVI data for the record of 1985/94, average NDVI by department (political divisions) were calculated for each department of the Province. Anomalies of the NDVI were calculated as deviations from the mean of the series. Corn yield data by department were also available for the same record. The anomalies of the NDVI from the spring to the autumn for several departments showed the intra and interannual variability of the state of the vegetation. Respect to the corn yields, 76% of the yield variability was explained by the anomalies of the NDVI. Results from the analysis showed the applicability of the index in the province of Córdoba and its potential role of including this type of satellite data to assess the yield of corn crops.

Key words: Satellites in agriculture, vegetation monitoring, NDVI, yield forecasts

INTRODUCCION

La evolución de la vegetación en general y el rendimiento final de los cultivos, están directamente relacionados con la

variabilidad de los elementos meteorológicos durante el ciclo de los mismos. Las condiciones meteorológicas y climáticas de un lugar junto con otras variables físicas y biológicas del ambiente,

permiten explicar con buena exactitud las respuestas biológicas locales. Sin embargo, la variabilidad de los componentes de los agroecosistemas y la insuficiente densidad espacial de observaciones en superficie, hacen deficiente la utilización de esos resultados puntuales para predecir comportamientos integrados en escala regional.

En los años recientes la aplicación de la tecnología satelital a la actividad agropecuaria ha significado la provisión de una importante cantidad de datos, de cobertura simultánea en extensas regiones geográficas y multitemporales. Esta tecnología provee un complemento promisorio a los datos medidos en la superficie, favoreciendo evaluaciones más precisas del medio ambiente y en tiempo real. Satélites de órbita polar como los de la serie NOAA, presentan características atractivas para estudios climáticos y de condiciones de la vegetación a lo largo del tiempo, debido a las bandas espectrales de registro que disponen y a la alta frecuencia temporal de cobertura (Ohring, 1994). De acuerdo al mismo autor, dentro de los productos disponibles de este tipo de satélites se incluyen temperatura atmosférica y contenido de vapor de agua, vientos, nubosidad, aerosoles, ozono, temperatura de la superficie del mar, índices de vegetación, albedo planetario, emisión de radiación de onda larga. De estos, el índice de vegetación NDVI (Normalized difference vegetation index) derivado de sensores de satélites NOAA, ha demostrado ser un medio eficiente y objetivo para la evaluación espacial y temporal de la situación biológica y de sus causas en grandes regiones. Aplicaciones específicas del índice en diferentes regiones del mundo, abarcan evaluaciones de cobertura vegetal y producción primaria (Hobs, 1995; Prince y Goward, 1996; Lambin y Ehrlich, 1996), de fenología vegetal (Reed y otros, 1994; Ludeke y otros, 1996), estimaciones de rendimiento de cultivos (Rasmussen, 1997; Hayes y Decker, 1996), sequías (Kogan y Sullivan, 1993; Kogan, 1995).

Las posibilidades de utilización de datos de satélites NOAA en la provincia de Córdoba y las previsibles ventajas de la aplicación de los mismos en el sistema de producción agropecuaria motivaron la realización de estudios de aplicabilidad. Este trabajo consiste en una evaluación de las capacidades del NDVI, para la determinación de la variabilidad anual e interanual del estado de la vegetación y de los rendimientos de maíz.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se dispuso de datos satelitales derivados del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), de satélites NOAA-9 y NOAA-11, en una resolución de 16 km². Los datos fueron obtenidos de NOAA/NESDIS, Satellite Research Laboratory, en Camp Spring, Maryland-EE. UU, para un período de tiempo desde julio de 1985 a junio de 1994 y para un área geográfica entre 29° y 40° lat. S y 72° y 56° long. O, abarcativa de la provincia de Córdoba. El sensor AVHRR mide reflectancias en las bandas del espectro visible (ch1), infrarojo cercano (ch2) y en tres bandas del infrarojo térmico (ch3, ch4, ch5). Las reflectancias del visible y del infrarojo cercano fueron calibradas según Rao y Chen (1995) y utilizadas para calcular el NDVI (Tarpley, et al., 1984; NOAA, 1994; Godward, et al., 1991), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$NDVI = (ch2 - ch1) / (ch2 + ch1)$$

De los NDVI diarios disponibles para cada pixel se seleccionó el máximo NDVI de cada semana y año de la serie, conformándose de esta manera una serie de NDVI semanales. Según Holben (1986), este valor máximo se puede considerar como el menos contaminado por interferencias atmosféricas y distorsiones posibles debido al ángulo de visión del sensor y de la iluminación de la superficie. De acuerdo al procesamiento realizado, se

dispuso entonces para cada pixel del área geográfica considerada, de una serie de nueve años con 52 valores (semanas) de NDVI para cada año. Por convención, para relacionar los datos con el ciclo vegetativo primavera-otoño, la semana número uno se asignó a la primera del mes de julio, hasta la 52 correspondiente a la última de junio. Estas series fueron suavizadas utilizando un filtrado estadístico (Kogan y Sullivan, 1993) y finalmente promediadas entre todos los pixels que componen cada departamento de la Provincia, obteniendo de esta manera series semanales de NDVI por departamentos. A partir de cada una de estas series se calcularon también las anomalías del índice, expresadas como el desvío entre el valor de cada semana y año en particular, respecto del promedio de la semana a través de la serie (Gutman y Ignatov, 1995).

Para el mismo período se obtuvieron datos sobre cultivo de maíz de área cosechada y de rendimiento por departamentos. (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba). Los rendimientos de maíz fueron normalizados de acuerdo al promedio departamental de la serie, expresando los valores en porcentaje de las medias respectivas.

Las magnitudes de las anomalías del NDVI fueron analizadas gráficamente; mediante análisis de correlación/regresión se investigó la relación de las mismas con los rendimientos de maíz de cuatro departamentos de mayor área cosechada del cultivo en la serie.

RESULTADOS Y DISCUSION

La relación entre la integral en el tiempo del NDVI y la producción de biomasa ha sido comprobada a través de varios experimentos de campo (Justice, 1986; Prince y Justice, 1991). En Córdoba, analizada la evolución de la vegetación durante el ciclo desde primavera a otoño para los departamentos de la provincia, se presenta para su discusión un caso correspondiente al departamento de Marcos Juárez (Fig. 1).

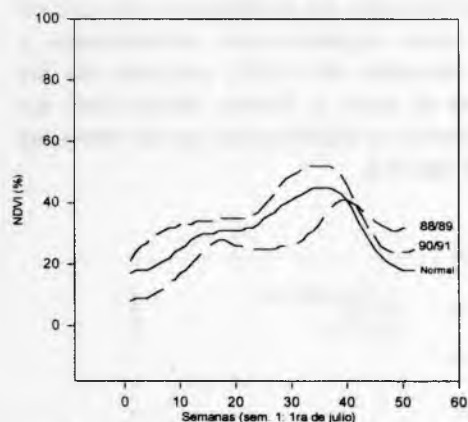


Fig. 1. Evolución normal de la vegetación y anomalías, expresadas por el NDVI.

En la figura se presenta una situación considerada climáticamente como normal, representada por la curva de NDVI promedio de la serie, respecto de la de un año favorable y de otro desfavorable. La campaña agrícola 90/91 se caracterizó por condiciones hídricas superiores a la normal. Por el contrario, la campaña 88/89 estuvo afectada por condiciones de sequía muy severas (Seiler, et al. 1996) que impactaron fuertemente el estado de la vegetación y los rendimientos de los cultivos. Las anomalías del NDVI (desvíos de la normal) durante esos dos ciclos seleccionados, presentan distintas magnitudes, además de indicar para cada caso, diferencias en el momento de inicio de crecimiento rápido de la vegetación, en los tiempos de ocurrencia de NDVI máximos, en el área debajo de las curvas. Los demás departamentos muestran modelos similares a Marcos Juárez con diferencias de valores y de momentos de ocurrencia, debidos a las características ecológicas locales y a la variabilidad de las lluvias.

A partir de un estudio sobre las integrales en el tiempo del NDVI en la provincia de Córdoba y su relación con los rendimientos de maíz, Seiler (1995) encontró que durante el ciclo del cultivo, los valores del NDVI en los meses de enero y febrero (semanas 27 a

35), fueron altamente correlacionados con los rendimientos de grano. Un análisis de regresión entre los rendimientos de maíz de los cuatro departamentos seleccionados y las anomalías del NDVI promedio de los meses de enero y febrero, proporcionó los parámetros y significancias que se presentan en la figura 2.

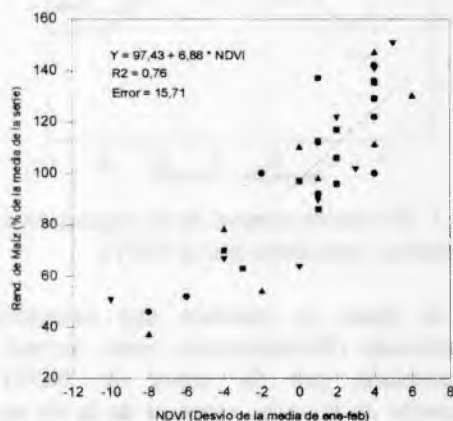


Fig. 2. Relación entre los rendimientos de maíz y el NDVI para los departamentos de Juárez Celman (□), Río Cuarto (○), Río Segundo (Δ) y San Justo (▽).

El análisis muestra un buen ajuste entre los datos empíricos de la zona considerada de la Provincia, con un coeficiente de determinación igual a 0,76 y un error medio de 15,71%. Las anomalías derivadas del NDVI aparecen como un predictor

significativo. Sin embargo la carencia de series suficientemente largas para calcularlas, debe establecer precauciones en su uso e inferencias (Gutman y Ignatov, 1995).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran la aplicabilidad del índice en la provincia de Córdoba y su potencialidad como herramienta operativa para la evaluación del estado de la vegetación y como un estimador del rendimiento de maíz. La magnitud de las anomalías observadas así como las pendientes de las curvas del NDVI en los distintos momentos del ciclo, ponen de manifiesto una capacidad del índice para representar el estado y la evolución de la vegetación. El aporte de las anomalías del NDVI a la explicación de la variabilidad de los rendimientos de maíz durante el período reproductivo y principio de maduración (76%), indica la posibilidad de suministrar estimaciones de rendimientos con anticipación de un mes a la cosecha y mayor aún si es hasta la disponibilidad de estadísticas consolidadas. No obstante los resultados obtenidos, no debe descartarse la necesidad de futuros trabajos experimentales conducentes a mejores interpretaciones de la significancia física-biológica del NDVI, que complementen las relaciones puramente empíricas y estadísticas.

BIBLIOGRAFIA

- GOWARD, S. N., B. MARKHAM, D. G. DYE, W. DULANEY AND J. YANG, 1991. Normalized Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer, *Remote Sensing of Environ.*, 35, 257-277.
- GUTMAN, G. and A. IGNATOV, 1995. Global Land Monitoring from AVHRR: Potential and Limitations. *Int. J. of Remote Sensing*, 16(13):2301-2309.
- HAYES, M. J. and W. L. DECKER, 1996. Using Satellite Data for Corn Production Assessments in the United States Corn Belt. *Am. Met. Soc.*, 22nd Agric. and Forest Met:347-349.
- HOBBS, T. J., 1995. The Use of NOAA-AVHRR NDVI Data to Assess Herbage Production in the Arid Rangelands of Central Australia. *Int. J. of Remote Sensing*, 16(7):1289-1302.

- HOLBEN, B. N., 1986. Characteristics of Maximum-value Composite Images from Temporal AVHRR Data. *Int. J. of Remote Sensing*, 7,1417-1434.
- JUSTICE, C. O., 1986. Monitoring the Grasslands of Semi-arid Africa Using NOAA-AVHRR Data. *Int. J. of Remote Sensing*, 7:1383-622.
- KOGAN, F. N., 1995. Application of Vegetation Condition Index and Brightness Temperature for Drought Detection, *Adv. in Space Res.*, 15, 11, 91-100.
- KOGAN, F. and J. SULLIVAN, 1993. Development of Global Drought-watch System Using NOAA/AVHRR Data, *Adv. in Space Res.*, 13, 5: 219-222.
- LAMBIN, E. F. and D. EHRLICH, 1996. The Surface Temperature-Vegetation Index Space for land Cover and Land-cover Change Analysis. *Int. J. of Remote Sensing*, 17(3):463-487.
- LUDEKE, M. K. B., RAMGE, P. H. and G. H. KOHLMAIER, 1996. The Use of Satellite NDVI Data for the Validation of Global Vegetation Phenology Models: Application to the Frankfurt Biosphere Model. *Ecological Modelling*, 91:255-270.
- NOAA, 1994. Global Vegetation Index User's Guide. Kidwell, K. B. (ed.) NOAA/NESDIS, U. S. Department of Commerce, Washington, D.C. 120 pp.
- OHRING, G., 1994. The Current Status of Operational Satellite Products for Climate Studies. *Adv. Space Res.*, 14(1):55-59.
- PRINCE, S. D. and C. O. JUSTICE, 1991. Coarse Resolution Remote Sensing of the Sahelian Environment. *Int. J. of Remote Sensing*, 12:1133-1421.
- PRINCE, S. D. and S. N. GOWARD, 1996. Evaluation of the NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set for Global Primary production Modelling. *Int. J. of Remote Sensing*, 17(1):217-221.
- RASMUSSEN, M. S., 1997. Operational Yield Forecast Using AVHRR NDVI Data: Reduction of Environmental and Inter-annual Variability. *Int. J. of Remote Sensing*, 18(50):1059-1077.
- RAO, C. R. N. and J. CHEN, 1995. Inter-satellite Calibration Linkages for the Visible and Near-infrared Channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, -9, and 11 Spacecrafts. *Int. J. of Remote Sensing*, 16:1931-1942.
- REED, B. C., BROWN, J. F., VANDERZEE, D., LOVELAND, T. R., MERCHANT, J. W. and D. O. OHLEN, 1994. Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery. *J. of Vegetation Science*, 5:703-714.
- SEILER, R. A., 1995. Using AVHRR satellite data to assess crops and vegetation in Cordoba, Argentina. Land Science Branch-Satellite Research Laboratory. NOAA, U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C. 53 pág.
- SEILER, R. A., KOGAN, F. and J. SULLIVAN, 1996. AVHRR-based Vegetation and Temperature condition indices for drought detection in Argentina. 31st Scientific Assembly of COSPAR, pg. 42. The University of Birmingham, England.
- TARPLEY, J. D., S. R. SCHNIEDER and R. L. ONEY, 1984. Global Vegetation Indices from NOAA-7 Meteorological Satellite, *J. of Climate and Appl. Meteorology*, 23, 491-503.