



Investigaciones Geográficas (Mx)

ISSN: 0188-4611

edito@igg.unam.mx

Instituto de Geografía

México

Granados Ramírez, Rebeca  
Monitoreo del desarrollo de cultivos de temporal en la Mesa Central, Guanajuato, México, usando  
imágenes NOAA-AVHRR  
Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 36, junio, 1998, pp. 45-55  
Instituto de Geografía  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56903605>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Monitoreo del desarrollo de cultivos de temporal en la Mesa Central, Guanajuato, México, usando imágenes NOAA AVHRR

Rebeca Granados Ramírez

Recibido: abril 20, 1998

Aceptado en versión final: junio 12, 1998

**Resumen.** El análisis de los índices de vegetación derivados de las bandas visible e infrarrojo por el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR) de los satélites NOAA, es una herramienta útil para monitorear cambios en la densidad y vigor de los cultivos a lo largo de un ciclo agrícola. Este trabajo es un ejemplo del uso de las técnicas de detección en áreas cultivadas. La zona estudiada corresponde a la provincia fisiográfica del estado de Guanajuato denominada Mesa Central, la cual, en general, posee características físicas, tales como topografía y suelos homogéneos y presencia de una marcada época de precipitación. Dentro de los cultivos que sustentan estas áreas, sobresalen las superficies sembradas de maíz y frijol, cuyo periodo de siembra - cosecha durante el ciclo productivo 1996 fue de agosto - noviembre. Paralelamente se recopilaban datos de campo como temperaturas, precipitaciones diarias y la situación meteorológica prevaleciente en diversos niveles de la atmósfera. Se digitizaron las áreas cultivadas y los suelos bajo el sistema ILWIS. Se obtuvieron además los datos de época de siembra, variedades utilizadas, fecha del periodo vegetativo, reproductivo y madurez. Se presentan los resultados de las relaciones entre los valores de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obtenidos de los compuestos de imágenes de satélite en diferentes fechas, con diversos aspectos físicos como precipitación, siniestros climáticos e igualmente con el periodo vegetativo.

**Palabras clave:** índice de vegetación, cultivos, periodo vegetativo.

**Summary.** The analysis of vegetation indexes derived from the visible and infrared bands of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) onboard NOAA satellites, is a useful tool for monitoring density changes and crops health over an agricultural cycle. This work is an example of the use of detection techniques in cultivated areas. The study zone belongs to the physiographical province of the Guanajuato state, known as Mesa Central, which possesses, in general, physical characteristics such as homogeneous topography and soils and a well marked precipitation season. Among the crops growing in these areas, the most outstanding are bean and maize which had during the 1996 seeding-harvest period their most productive cycle within August - November. Field data such as temperature, daily precipitation and meteorological information at different atmospheric heights were gathered likewise. Cultivated and soils areas were digitized under ILWIS system environment. Additionally, data on seeding time, types used and growing, reproductive and maturity periods were obtained. Results of the relation among the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values obtained from satellite images at different dates and physical parameters such as precipitation, climatic adversities and growing period are presented.

**Key words:** Vegetation Index, crops, growing period.

## INTRODUCCIÓN

Las imágenes de satélite son una herramienta que posibilita analizar una zona en repetidas ocasiones. Dependiendo de la resolución temporal de la imagen se pueden realizar estudios multitemporales para reconocer y evaluar variaciones y cambios estacionales en la vegetación, cantidad de biomasa, detección de sequía, etc. (Tucker *et al.*, 1985; Running *et al.*, 1995).

Las técnicas de detección de cambios se basan en el supuesto de que cualquier transformación en la

cobertura vegetal dará como resultado una alteración en los valores de reflectancia lo suficientemente grande para ser registrados.

Es conveniente recordar que las imágenes digitales están compuestas de una malla de números, cada una de sus celdas recibe el nombre de pixel y contiene un valor digital. Cada número representa el valor promedio de la reflectancia de una superficie de la Tierra a determinada longitud de onda.

La variación de los valores digitales contenidos en las imágenes implica analizar el comportamiento reflectivo

\* Autor para correspondencia: Instituto de Geografía, UNAM, México (becaria de doctorado-CONACyT).  
Instituto de Geografía, UNAM. Circuito Exterior S/N Ciudad Universitaria, C.P. 04510 México, D.F.



de diferentes superficies a diversas longitudes de ondas, seleccionar la parte del espectro en la cual diversos elementos (vegetación o cuerpos de agua) se pueden observar con más claridad y realizar restas (o divisiones) de las bandas correspondientes.

Los índices de vegetación se pueden definir como la combinación de bandas espectrales de una superficie, se utiliza para detectar cambios en la cobertura vegetal. Existe un comportamiento diferente entre la banda visible y la infrarroja cercana: la mayor parte de la luz visible se absorbe y casi la totalidad de la luz infrarroja se refleja y se transmite. El supuesto básico es la absorción de la energía en el espectro visible y la gran reflectividad en el infrarrojo por parte de la vegetación. Estas diferencias forman la base para la definición de los índices de vegetación como función de las radianzas de las bandas visible R1 e infrarrojo R2. El índice más usado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Reed *et al.*, 1994).

$$NDVI = R2 - R1 / R2 + R1.$$

Este índice toma valores entre -1 y +1 y es, sin lugar a duda, el más utilizado en las aplicaciones agronómicas de la teledetección, ya que reúne dos caracteres muy importantes: sencillez matemática y poder de normalización de la respuesta espectral de sistemas vegetales, alcanzando un alto grado de relación con diversos parámetros de interés agrícola, tales como la biomasa, el índice de superficie foliar (LAI), entre otros.

Los satélites NOAA fueron diseñados para ofrecer un ciclo de cobertura muy corto: una imagen cada doce horas. Su altitud orbital es de 833 a 870 km. Una imagen cubre un área aproximada de 3 000 km de lado. Estos satélites tienen a bordo un sensor denominado AVHRR (Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución) construido para proporcionar imágenes con una resolución de 1.1 km (en el nadir), en 5 bandas del espectro.

El sensor por su amplia cobertura y baja resolución le permite analizar las condiciones de la vegetación en periodos cortos de tiempo y a escala global, lo que le hace una herramienta idónea para estudiar fenómenos muy dinámicos como la desertificación, la deforestación de zonas inaccesibles, los incendios forestales de gran magnitud, entre otros.

Actualmente diversos estudios han concluido que el análisis de los índices de vegetación derivados de las bandas visible e infrarrojo por el (AVHRR) de los

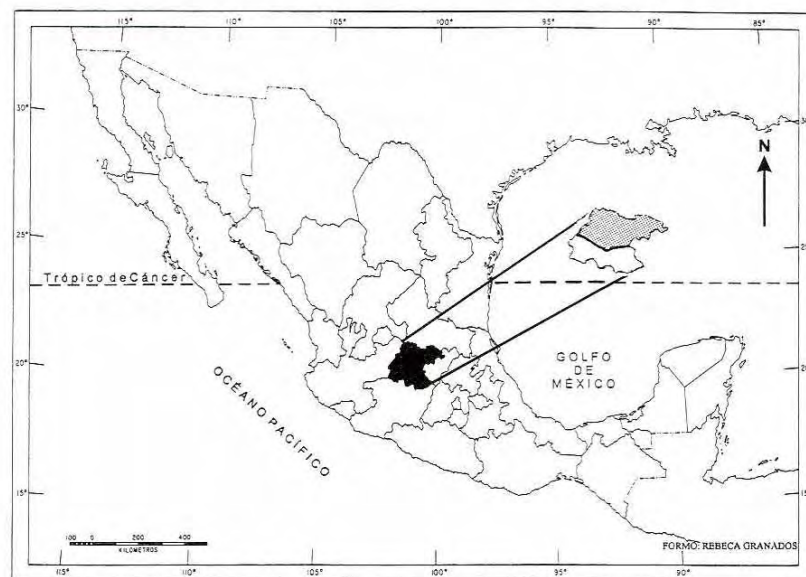
satélites NOAA, constituye una valiosa herramienta para monitorear a escala continental y regional: densidad y vigor del cultivo a lo largo de un ciclo agrícola (Tucker *et al.*, (1985); Sellers 1985; Tucker y Sellers 1986; Bartholomé, 1988; Ehrlich, 1994; Watts y Saiz 1996 y Rasmussen, 1997). Igualmente existe relación entre la biomasa y dichos índices (Anderson, 1993).

Gandía y Meliá (1991) encontraron relación proporcional entre este índice de vegetación y los valores de precipitación, los cuales resultan útiles para los modelos de predicción de producción, que a menudo se basan en datos de precipitación y sirven también para identificar zonas afectadas por desertificación.

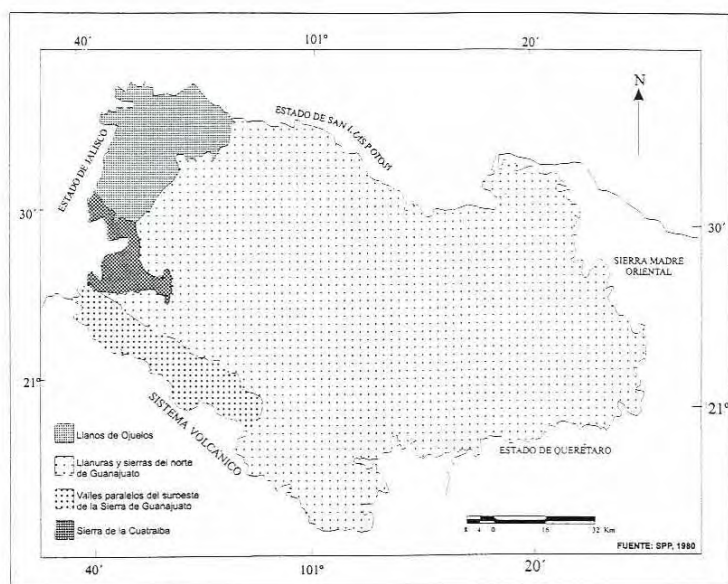
En este trabajo se ejemplifica el uso de las técnicas de percepción remota en la región fisiográfica Mesa Central de Guanajuato para el ciclo agrícola 1996, resultados parciales se han presentado en diferentes foros (Granados *et al.*, 1996 y 1997). La investigación se ha continuado y profundizado dada la gran superficie agrícola que existe en la región y la constante incidencia de diversos fenómenos biofísicos que coadyuvan a su buen o mal desarrollo, además de que un alto porcentaje de Población Económicamente Activa (PEA) está dedicada a esta actividad primaria.

#### LÍMITES, EXTENSIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO

La provincia Mesa Central cubre parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes y la porción austral penetra en el estado de Guanajuato. Esta porción en la entidad guanajuatense tiene límites convencionales al norte con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí; el Sistema Volcánico Transversal, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental se localizan al sur, oriente y poniente, respectivamente. Se caracteriza por amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en su mayoría de naturaleza volcánica. Cuenta con una superficie de 13 794.09 km<sup>2</sup>, que incluyen los municipios de Allende, Doctor Mora, Dolores Hidalgo, Guanajuato, Ocampo, San Diego de la Unión, San Felipe, San José Iturbide, San Luis de la Paz, Sta. Catarina, Tierra Blanca y Victoria (en total 12 municipios). En esta misma provincia existen zonas que por características particulares forman diversas subprovincias: Llanos de Ojuelos, Llanuras y Sierras del Norte de Guanajuato y discontinuidades fisiográficas: Sierra de la Cuatralba y los Valles Paralelos del Suroeste de la Sierra de Guanajuato (SPP, 1980) (Figuras 1 y 2).



**Figura 1.** Localización del estado de Guanajuato y zona en estudio.



**Figura 2.** Subprovincias de la Mesa Central de Guanajuato.



Con respecto a las aguas superficiales, la Mesa Central forma parte de las cuencas hidrológicas: Ríos Lerma-Chapala-Santiago y Alto Río Pánuco. Los suelos de las llanuras son derivados de aluviones depositados por la acción del agua y el viento, y se identifican de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO como Xerosoles háplicos, que dominan en la parte noroeste de la llanura, y Feozems háplicos en la porción suroeste. Ambos tipos de suelos se encuentran limitados por una fase dúrica a menos de 50 cm de profundidad, son fértiles si se

encuentran ubicados en terrenos planos; características que propician su uso agrícola. En otras topoformas (lomeríos y sierras) dominan los Feozems háplicos asociados a Litosoles, éstos son suelos poco profundos que se erosionan fácilmente (SPP, 1980). En síntesis, el área en estudio posee características físicas, tales como topografía y suelos relativamente homogéneos; factores importantes para trabajar con imágenes NOAA de satélite de muy alta resolución espacial (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Características de la región en estudio

Topografía:	Amplias llanuras de origen sedimentario. Altitud promedio 1 900 msnm. Existen pequeños lomeríos y sierras.
Suelos:	Derivados de aluviones despositados por acción del agua y viento. Se identifican como: Xerosoles háplicos y Feozems háplicos, ambos limitados por la fase dúrica a menos de 50 cm. Su textura es franco arcillosa, franco arenosa y granular.

En la provincia Mesa Central se han identificado los siguientes tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de encino, matorral crasicaule y pastizal natural, estos dos últimos son los más frecuentes y tienen algunos de los siguientes componentes: nopal hartón (*Opuntia sp.*), nopal cardón (*O. streptacantha*), cardenche (*O. imbricata*), huizache y garbancillo, ambos del género *Acacia*.

En Guanajuato, una de las principales actividades básicas la constituye la agricultura. Un 29.7% del área en estudio se destina al temporal, donde los cultivos que ocupan mayor extensión son maíz y frijol. En esta actividad está implícito el riesgo y la incertidumbre; sin embargo, el agricultor temporalero es el que obtiene los menores rendimientos por unidad de superficie y los mayores índices de siniestrabilidad del estado.

## MATERIALES Y MÉTODO

Para realizar esta investigación se capturó una secuencia de imágenes diarias de mayo a noviembre de 1996 del satélite NOAA 14 recibida en el Laboratorio de Observación de la Tierra (LOT) del Instituto de Geografía de la UNAM, México. El procesamiento de imágenes consistió en la selección de imágenes, importación, extracción del canal 1 (visible) y 2 (infrarrojo), registro, corrección geométrica, cálculo del índice de vegetación, obtención de compuestos del área en estudio bajo el sistema Terascan.

**Selección de las Imágenes.** Se utilizó el archivo de fotocopias y fotos del LOT y del Laboratorio de Oceanografía Física, este último del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. A partir de mayo de 1996,

mediante el análisis visual de las imágenes recibidas aproximadamente a las 14 horas, se seleccionaron materiales diarios con mínima presencia de nubes y ruido con objeto de que el área en estudio no sufriera distorsiones.

**Importación.** Este paso consiste en copiar la información de la imagen en un archivo que tiene los límites de la zona en estudio.

**Extracción del canal 1 y 2.** El sistema Terascan permite extraer cualquier banda del archivo bloque. En este estudio se seleccionaron las bandas 1 y 2, ya que son las utilizadas en el cálculo del índice.

**Corrección geométrica y registro.** Este paso consiste en sobreponer el contorno de la República Mexicana previamente digitizada a cada una de las imágenes seleccionadas. Mediante el manejo del sistema se puede mover dicho contorno para que en la imagen y zona en estudio se registren coordenadas, valores por área, región, etc. Una vez terminado el paso se copia nuevamente la imagen anexándole todos los atributos nuevos, denominando a éste, registro de la imagen.

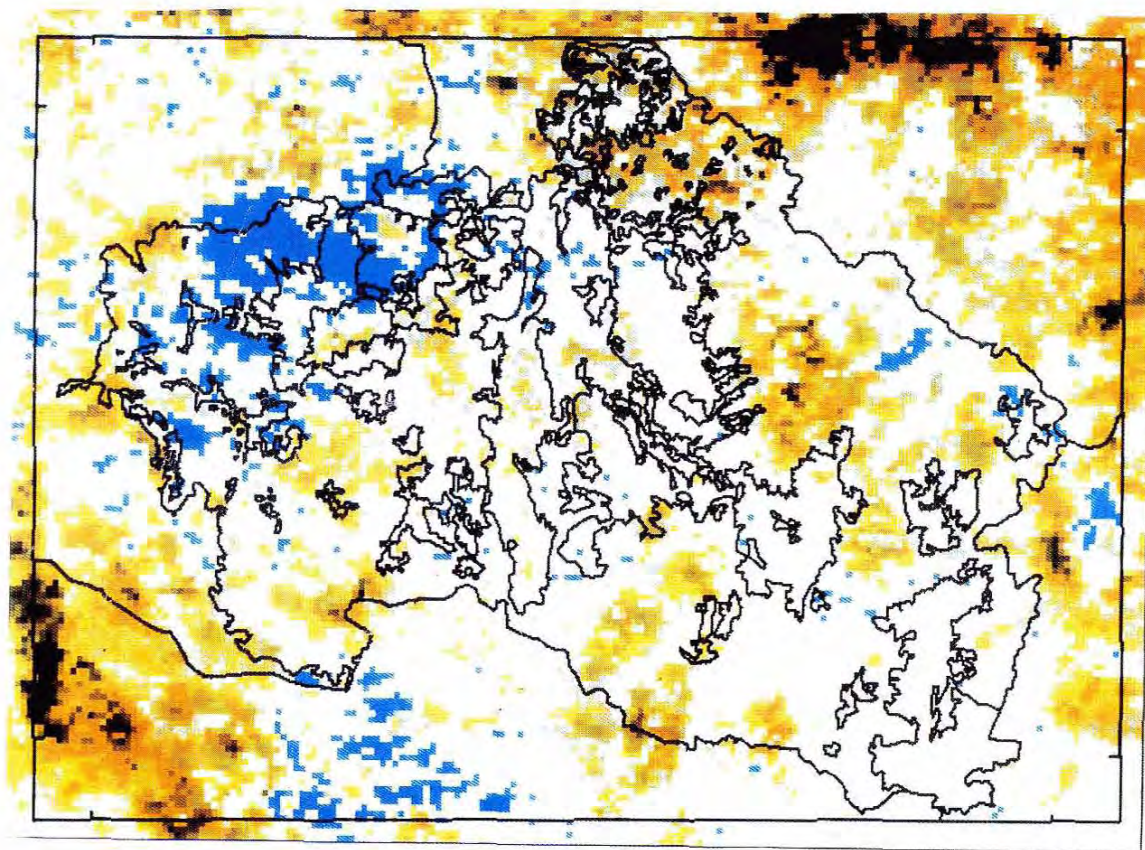
**Cálculo del índice de vegetación.** A las imágenes producidas en la etapa anterior se les aplica la fórmula del NDVI.

**Obtención de compuestos.** Consiste en agrupar imágenes para así analizar series de tiempos. Los compuestos de NDVI analizados corresponden al periodo agrícola primavera-verano 1996 (julio-noviembre). Se analizaron 9 compuestos, los cuales no siempre constan de 15 días de imágenes, sino que se



escogieron aquéllas que presentaban nubosidad mínima, quedando así los compuestos entre 6 y 10 imágenes. Posteriormente, se obtuvieron los valores de NDVI a nivel más particular por subregión, sobreponiendo a la imagen la zonificación de las áreas agrícolas de

temporal (**Figura 3**). Nuevamente con los programas de cómputo incluidos con el sistema de recepción, se calcularon los valores de NDVI e histogramas de las subregiones.



**Figura 3.** Índice de vegetación normalizada. Compuesto correspondiente a la segunda quincena de julio de 1996.

Paralelamente, se recopilaron y analizaron datos de temperatura y precipitación diaria de los meses de mayo a noviembre 1996, ya que este lapso incluye el periodo de desarrollo de los productos básicos: maíz y frijol. Se obtuvieron además los datos: época de siembra, variedades utilizadas, fecha del periodo vegetativo, reproductivo, madurez y cosecha de los cultivos básicos ya mencionados, lo anterior con visitas mensuales y quincenales realizadas a zonas productoras de mayor extensión tales como: La Haciendita, Misión de Armado,

San Felipe, etc., e información proporcionada por los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) 01 y 02.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

En términos generales, en el **Cuadro 2** se aprecia un aumento importante en los valores medios de NDVI en la primera quincena de agosto. Lo anterior se debió a la presencia tanto de precipitación como de materia verde.

**Cuadro 2.** Estadísticas de los Compuestos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

FECHA	MEDIA	MÍNIMA	MÁXIMA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Julio*	0.0944	-0.3783	0.5799	0.1212
Agosto <sup>1</sup>	0.1053	-0.3776	0.6293	0.1929
Agosto <sup>2</sup>	0.1900	-0.4584	0.6525	0.1958
Septiembre <sup>1</sup>	0.2643	-0.4393	0.7831	0.1893
Septiembre <sup>2</sup>	0.1982	-0.1970	0.5644	0.1726
Octubre <sup>1</sup>	0.1485	-0.3355	0.7015	0.1876
Octubre <sup>2</sup>	0.2486	-0.4738	0.6052	0.1952
Noviembre <sup>1</sup>	0.2380	-0.4723	0.5925	0.1794
Noviembre <sup>2</sup>	0.2245	-0.4722	0.5366	0.1658

Compuesto del mes

<sup>1</sup>1a. quincena.

<sup>2</sup>2a. quincena.

El **Cuadro 3** se aprecia un aumento en los valores medios de NDVI en la primera quincena de agosto con 0.2205. Anterior a estas fechas los promedios del índice analizado fueron de 0, e incluso por debajo de éste, por

lo que no fueron representados. A partir de esta fecha los valores de NDVI se incrementan hasta alcanzar el máximo de 0.3203 en la segunda quincena de septiembre.

**Cuadro 3.** Valores de NDVI en la subprovincia Llanuras Centrales

FECHA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMA	MÁXIMA	MEDIANA
Agosto <sup>1</sup>	0.2205	0.3016	0.1627	0.2652	0.2241
Agosto <sup>2</sup>	0.2688	0.4532	0.1870	0.3264	0.2695
Septiembre <sup>1</sup>	0.2863	0.0693	0.1914	0.4225	0.2695
Septiembre <sup>2</sup>	0.3203	0.0597	0.2265	0.3998	0.3096
Octubre <sup>1</sup>	0.2886	0.0565	0.1678	0.3364	0.3142
Octubre <sup>2</sup>	0.2773	0.0552	0.1901	0.3479	0.2701
Noviembre <sup>1</sup>	0.2649	0.0476	0.2064	0.3535	0.2586
Noviembre <sup>2</sup>	0.1987	0.0366	0.1365	0.2487	0.2060

<sup>1</sup>1a. quincena.

<sup>2</sup>2 quincena.

En la subprovincia Llanos de Ojuelos, los valores medios de NDVI presentan altas y bajas, hasta iniciar un aumento constante a partir de la segunda semana de septiembre que se sostiene hasta la primera quincena de

noviembre; es en la segunda parte de este mes en que se presenta una considerable reducción del valor analizado (**Cuadro 4**).



**Cuadro 4.** Valores del NDVI en la subprovincia Llanos de Ojuelos

FECHA	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÍNIMA	MÁXIMA	MEDIANA
Agosto <sup>1</sup>	0.0365	0.0054	0.2773	0.0431	0.0360
Agosto <sup>2</sup>	0.0167	0.0398	-0.0667	0.6334	-0.0290
Septiembre <sup>1</sup>	0.1424	0.3273	0.0766	0.2057	0.1395
Septiembre <sup>2</sup>	0.0995	0.0252	0.0686	0.1427	0.0932
Octubre <sup>1</sup>	0.1709	0.6215	0.2920	0.2502	0.1880
Octubre <sup>2</sup>	0.2519	0.0548	0.1508	0.3301	0.3136
Noviembre <sup>1</sup>	0.3040	0.0452	0.2237	0.3535	0.2984
Noviembre <sup>2</sup>	0.2452	0.0330	0.1777	0.2831	0.2569

<sup>1</sup>1a. quincena.

<sup>2</sup>2a. quincena.

Respecto a las Temperaturas medias mensuales, durante el periodo mayo - noviembre éstas oscilaron entre 17 y 26° C, las más elevadas se registraron en mayo y junio, disminuyeron hacia el norte y oeste, en tanto que las más bajas se tuvieron en la porción oriental.

Las primeras lluvias se presentaron en abril, únicamente con 4 mm. En mayo se registraron precipitaciones de apenas 20 mm en la porción oeste, zona que coincide con las partes altas de la sierra. En junio aumentó en casi toda la provincia hasta 40 mm, mientras que en julio las precipitaciones aumentaron de norte a sur y en el extremo oeste de 40 a 100 mm. En septiembre la totalidad de la provincia recibió arriba de 150 mm, y en octubre, en toda la provincia disminuyeron las precipitaciones (32 mm al norte y 60 al oeste). En general la provincia recibió un total de 390 mm de precipitación. Debido a la escasez de las lluvias en los primeros meses del verano las siembras de temporal se hicieron tardíamente en la última quincena de julio y primera de agosto.

En 1996 las primeras heladas se registraron los días 8, 9 y 11, afectando a los cultivos en la etapa de madurez y causando bajos rendimientos. Las **Figuras 4 y 5**, resultado de información obtenida en el trabajo de campo, muestran que la siembra de los cultivos básicos se realizó a finales del julio y principios de agosto, las variedades utilizadas y fases fenológicas registradas.

Finalmente, se conjugaron las informaciones (NDVI, precipitaciones y fechas de las fases fenológicas) dando como resultado la **Figura 6**. En ella se aprecia un aumento en los valores medios de NDVI en la primera quincena de agosto, en general, en la subprovincia Llanuras Centrales el cultivo de maíz se encontraba en la fase de emergencia. A partir de esta fecha el cultivo continuó su desarrollo y los valores de NDVI se incrementaron hasta alcanzar 0.32 en la segunda quincena de septiembre, encontrándose el cultivo en la fase de floración. En noviembre se presentó una reducción en el índice de vegetación, fecha en la cual se registraron las primeras heladas.



## FASES FENOLOGICAS MAIZ DE TEMPORAL

### VARIEDADES

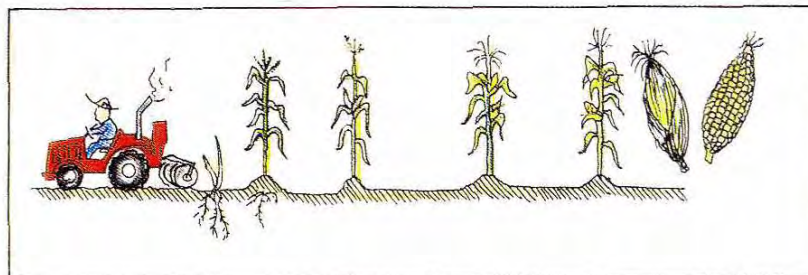
#### TEMPORAL

H 311

HV 313

CAFIME

CRIOLLO



SIEMBRA EMERGEN 9° ESPIGA Y ESTADO MADUREZ COSECHA  
CIA HO FLORACION MASOSO

ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
-------	------	-------	-------	--------	------------	---------	-----------	-----------

Figura 4. Fases fenológicas del maíz de temporal.

## FASES FENOLOGICAS FRIJOL DE TEMPORAL

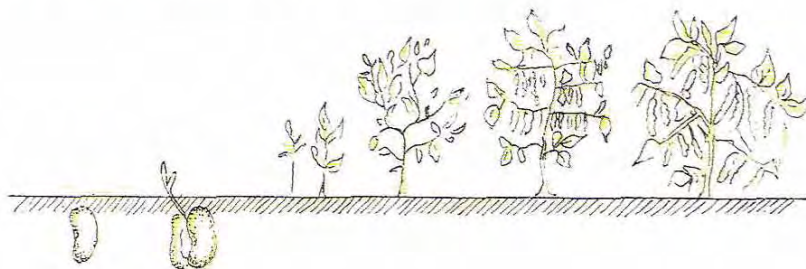
### VARIEDADES

#### TEMPORAL

FLOR DE MAYO BAJIO

CANARIO 101 Y 107

CRIOLLO



SIEMBRA EMERGEN D. GUIAS FLORACION LLENADO DE V. COSECHA  
CIA GENCIA

MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
------	-------	-------	--------	------------	---------	-----------	-----------

Figura 5. Fases fenológicas del frijol de temporal.

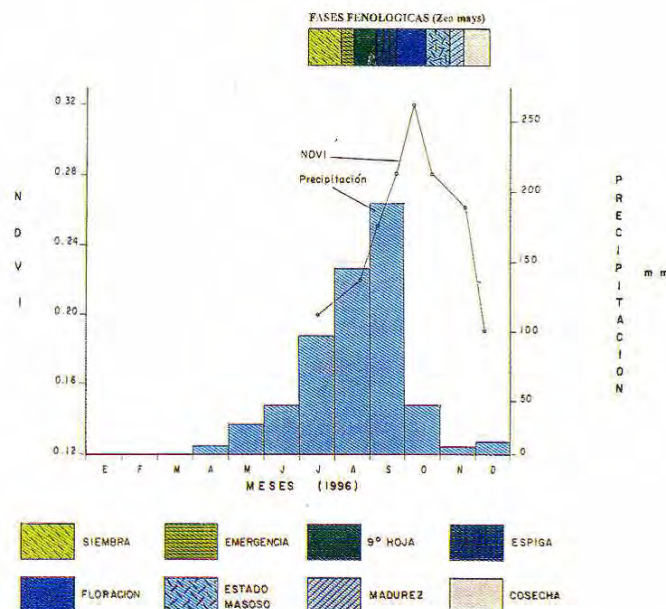


Figura 6. NDVI vs. Precipitación en las Llanuras Centrales.

En la subprovincia Llanuras de Ojuelos se sembró principalmente frijol, variedades flor de mayo, canario 101 y 107. Dicha labor se realizó la última y primera semana de julio y agosto, respectivamente. Debido a la escasa precipitación (menos de 100 mm) recibida en los meses anteriores, no se realizó dicha labor. El NDVI presentó valores altos y bajos, hasta iniciar un aumento en la etapa de emergencia y desarrollo de guías, iniciándose un aumento constante a partir de la segunda

semana de septiembre y hasta la primera quincena de noviembre, cuando el cultivo se encontró en su fase culminante (llenado de vaina y madurez), con un NDVI de 0.3, hasta dicho momento se recibieron 350 mm de precipitación. Fue en la segunda quincena de noviembre en que se presentó una reducción considerable en los valores de NDVI, respuesta a las heladas que se registraron (Figura 7).

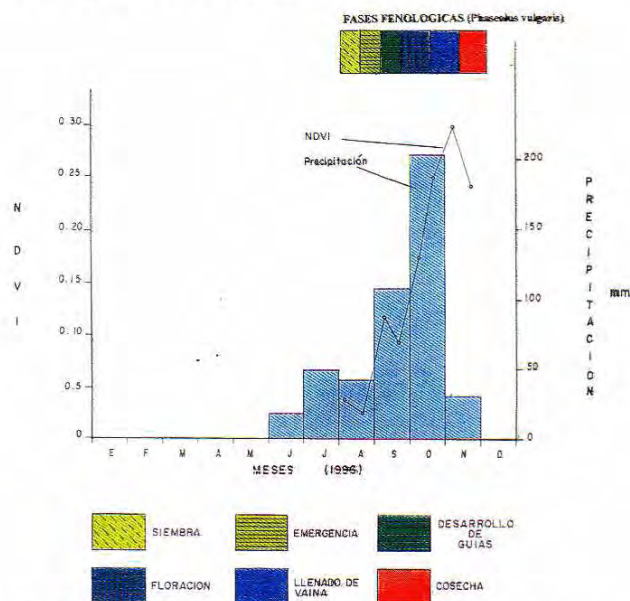


Figura 7. NDVI vs. Precipitación en los Llanos de Ojuelos.



## CONCLUSIONES

El análisis de las variables: estado de crecimiento del cultivo, precipitación y valores de los índices de vegetación, proporcionó una buena estimación del total de biomasa acumulada a lo largo de un ciclo agrícola y principalmente durante la estación lluviosa, por tanto, el NDVI puede ser considerado como una medida aproximada de productividad de la planta.

En las áreas analizadas se aprecian los cambios mensuales sufridos en los cultivos. Los valores altos de NDVI indican una alta densidad y vigor del cultivo, y los bajos, la presencia de suelo desprovisto de plantas, presencia de fases fenológicas tempranas, baja densidad o cultivos en espera de ser cosechados.

Los resultados obtenidos muestran una relación proporcional entre el NDVI, estado de crecimiento del cultivo y precipitación acumulada. Al aumentar la precipitación se presenta una respuesta en el estado de crecimiento del cultivo e igualmente los valores de NDVI tienden a incrementarse. Cuando esta relación no es proporcional indica que es un factor físico (suelo, sequía, problemas de inundación, plagas, etc.) el que influye en

el crecimiento del cultivo, provocándole estrés y por tanto una respuesta diferente en el NDVI.

Durante el ciclo primavera - verano 1996 el comportamiento del NDVI muestra valores reducidos en la época de siembra y un incremento en agosto hasta alcanzar un máximo en octubre durante la época de pleno desarrollo del maíz y frijol, para después decrecer hasta alcanzar de nuevo valores bajos durante el mes de noviembre, que es la época de cosecha.

El análisis del comportamiento de las variables a lo largo del ciclo agrícola, mostró que el desarrollo de los cultivos no fue satisfactorio, dando como resultado reducciones importantes en la producción de la región.

## CONSIDERACIONES FUTURAS

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el potencial del AVHRR en el monitoreo de áreas agrícolas extensas con características topográficas, suelo y clima similares. Se hace necesario afinar la metodología mediante el monitoreo realizado por lo menos en dos ciclos agrícolas más, y extender este análisis a otros cultivos tanto de temporal como de riego.

## REFERENCIAS

- Anderson, G. L., J. D. Hanson y R. H. Hass (1993), "Evaluating Landsat Mapper Derived Vegetation Indices for Estimating Above-Ground Biomass on Semiarid Rangelands", *Remote Sensing of the Environment*, 35:11-27.
- Bartholomé, E. (1988), "Radiometric Measurements and Crop Yield Forecasting. Some Observation Over Millet and Sorghum Experimental Plots in Mali", *International Journal of Remote Sensing*, 9:1522-1539.
- Ehrlich, D., J. E. Estes y A. Singh (1994), "Applications of NOAA - AVHRR 1 Km. Data for Environmental Monitoring", *International Journal of Remote Sensing*, 15:145-161.
- Gandía, S. y Meliá, J. (1991), Curso de Postgrado. La Teledetección en el Seguimiento de los Fenómenos Naturales. Recursos Renovables: Agricultura, Universidad de Valencia, Unidad de Teledetección, Valencia, España.
- Granados, R. R., T. Reyna. T. y G. Gómez. R. (1996), "La Teledetección en el seguimiento de las superficies cultivadas de la Mesa Central de Guanajuato", *Resúmenes, VII Reunión Nacional Selper-México*, Colima, Col., p. 3.
- Granados, R. R., T. Reyna. T y G. Gómez. R (1997), "Monitoreo del desarrollo de cultivos de temporal en la Mesa Central", Guanajuato, México, *Resúmenes VIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*, Mérida, Venezuela, pp. 252-253.
- Rasmussen, M. S. (1997), "Operational Yield Forecast Using AVHRR-NDVI Data: Reduction of Environmental and Inter-Annual Variability", *International Journal of Remote Sensing*, 5:1059-1077.
- Reed, B. C., F. J. Brown, D. VanderZee, T. R. Loveland, J. W. Merchant y D. O. Ohlen (1994), "Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery", *Journal of Vegetation Science*, 5:703-714.
- Running, S. W, T. R. Loveland, L. L. Pierce, R. R. Nemani y E. R. Hunt Jr. (1995), "A Remote Sensing Based Vegetation Classification Logic for Global Land Cover Analysis", *Remote Sensing of Environment*, 51:39-48.
- Sellers, P. J. (1985), "Canopy Reflectance Photosynthesis and Transpiration," *International Journal of Remote Sensing*, 6:1335-1372.
- SPP (1980), Síntesis Geográfica de Guanajuato. México.
- Tucker, C. J., C. L. Vanpraet, M. J. Sharman y G. V. Ittersum (1985), "Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in Senegalese Sahel; 1980-1984", *Remote Sensing of Environment*, 17:233-249.
- Tucker, C. J. y P. J. Sellers (1986), "Satellite Remote Sensing of Primary Production", *International Journal of Remote Sensing*, 7:1395-1416.
- Watts, C. y J. A. Saiz Hernández (1996 ), "Monitoreo del desarrollo de trigo en el Valle del Yaqui, Sonora, usando imágenes NOAA-AVHRR", *Investigaciones Geográficas Boletín*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 33:51-61.