

Jesús Soria Ruiz, Rebeca Granados Ramírez

Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del
Landsat

Ciencia Ergo Sum, vol. 12, núm. 2, julio-octubre, 2005, pp. 167-174,

Universidad Autónoma del Estado de México

México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412209>



Ciencia Ergo Sum,

ISSN (Versión impresa): 1405-0269

ciencia.ergosum@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma del Estado de México

México

¿Cómo citar?

Fascículo completo

Más información del artículo

Página de la revista

www.redalyc.org

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat

Jesús Soria Ruiz* y Rebeca Granados Ramírez**

Recepción: 13 de enero de 2005

Aceptación: 21 de abril de 2005

*Campo Experimental Valle de Toluca, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Vialidad Adolfo López Mateos. Km. 4.5 Carretera Toluca Zitacuaro. C.P. 51350. Zinacantepec, México.
Teléfono: (722) 278 00 27.

Correo electrónico:
soria.jesús@inifap.gob.mx.

** Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F. Teléfono: (55) 56 22 43 35
Correo electrónico:
rebeca@igiris.igeograf.unam.mx.

Resumen. El objetivo de este trabajo fue relacionar y explicar las variaciones de los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenidos de las imágenes de los satélites *Landsat*-TM y NOAA-AVHRR. Se realizó una comparación entre los valores de NDVI obtenidos en ambas imágenes con dos escenas de un área cultivada de maíz en el estado de Guanajuato. En todos los casos analizados, el NDVI promedio que reportó el sensor TM fue mayor que el obtenido mediante el sensor AVHRR, cuyas diferencias oscilaron entre 0.13 y 0.17. Los anteriores resaltaron la utilidad e importancia de cada una de las imágenes según los objetivos y las características físicas de la región de estudio.

Palabras clave: índice de vegetación, resolución espacial, resolución espectral, reflectancia.

Relationship Between Vegetation Indexes Obtained by the Satellite Sensors NOAA-AVHRR and Landsat-TM

Abstract. The objective of this paper was to relate and to explain the variations in Normalized Difference Vegetation Indexes (NDVI) obtained from satellite images *Landsat*-TM and NOAA-AVHRR. NDVI values obtained through both imaging methods were compared for two scenes of a corn-cultivated area in the Guanajuato state. In all cases, the average NDVI reported by the TM sensor was higher than the one obtained using the AVHRR sensor, with differences oscillating between 0.13 and 0.17. These findings provide support to the utility and importance of each image type according to the specific objectives and physical features of the region to be studied.

Key words: vegetation index, spatial resolution, spectral resolution, reflectance.

Introducción

La tecnología de percepción remota (PR) es una herramienta importante en la elaboración de estudios relacionados con la observación, evaluación y monitoreo de recursos naturales, debido a la gran cantidad de información y a su potencialidad de análisis. Algunos de los satélites meteorológicos y de recursos naturales que se han destacado son los siguientes: Nimbus, Tiros-NOAA y ATS-Geos, Landsat y Spot. Cada uno tiene objetivos específicos y características particulares (Gibson, 2000: 91).

La resolución espacial designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Los satélites de recursos naturales diseñados para adquirir información sobre áreas muy heterogéneas suelen contar con alta resolución: píxeles desde los 10 m hasta 120 m. Otro grupo de satélites orientados hacia aplicaciones más globales presentan una resolución espacial mayor de 500 x 500 m.

El primer satélite para el estudio de los recursos naturales fue lanzado en julio de 1972 con el nombre de ERTS (*Earth Resources Technological Satellite*), denominado programa Landsat a partir del segundo lanzamiento. Actualmente está en opera-

ción el Landsat 7, cuyo sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM), tiene una resolución espacial de 30 m (0.09 ha o 0.22 acres) (Warren y Goward 2004: 536).

Dentro de los programas diseñados originalmente para enviar información meteorológica, está la familia de satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*). Este proyecto fue desarrollado a partir de 1960 con el lanzamiento del Tiros 1, nombrado como NOAA a partir del sexto satélite lanzado en 1979 (Soria *et al.*, 1998: 28). Posee una alta resolución temporal (una imagen cada 12 horas). El sensor del satélite NOAA se denomina AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), y fue diseñado para proporcionar imágenes con una resolución espacial de 1.1 km² (en el nadir) en cinco bandas del espectro.

Las características del sensor AVHRR en comparación con el TM se muestran en el cuadro 1. Los sensores de dichos satélites poseen filtros que les permiten registrar simultáneamente la energía reflejada o emitida en zonas muy específicas del espectro.

La adquisición de imágenes *Landsat-ETM* se lleva a cabo mediante previa solicitud a las instituciones encargadas de su difusión a un costo promedio de mil dólares, mientras que las NOAA-AVHRR se adquieren a muy bajo costo, e incluso en forma gratuita consultando diversas páginas web, como <http://edc.usgs.gov/products/satellite/avhrr.html>, entre otras.

Para extraer información sobre la vegetación a partir de imágenes de satélite, es necesario realizar transformaciones a la imagen, las cuales pueden simplificar o reducir el volumen de datos. Estas operaciones permiten mejorar su disposición, de forma que sean más evidentes determinados fenómenos de interés. Las transformaciones más empleadas son los índices de vegetación.

Determinar los índices de vegetación a partir de imágenes de satélite implica efectuar una división, pixel a pixel entre los niveles digitales (ND) almacenados en dos bandas de la misma imagen (bandas 4 y 3 del sensor TM y las bandas 2 y 1 del AVHRR), su empleo se justifica con dos propósitos: *a)* para mejorar la discriminación entre suelo y vegetación, y *b)* para disminuir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas.

Los índices de vegetación se utilizan para discriminar masas vegetales de alta actividad fotosintética de otras coberturas en fases fenológicas iniciales, y se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación. El comportamiento espectral característico de la vegetación sana mues-

En regiones con sistemas de producción heterogénea y tenencia de la tierra de tipo parcelario es recomendable el uso de sensores con mayor resolución espacial y espectral como el Landsat-TM.

tra un alto contraste entre las bandas visibles, especialmente la banda roja (0.6-0.7 mm) y la del infrarrojo cercano (0.7-1.1 mm). En la región visible del espectro electromagnético, los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias reflejan en forma mínima en el infrarrojo cercano. Por tal razón se produce un contraste espectral entre las bandas roja e infrarrojo cercano del espectro. Esto permite separar con claridad la vegetación de

otras coberturas. Estas diferencias forman la base para la definición de los índices de vegetación como función de la radiación de las bandas visible (vis) e infrarrojo cercano (IRC). Existen diversos índices de vegetación (IVs), los cuales tienen en común el uso de los valores de reflectancia y absorción en las zonas espectrales del rojo e infrarrojo cercano (Gilabert *et al.*, 1997: 39 y Warren y Goward 2004: 536-538). El índice más usado es el índice de vegetación de diferencia normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDVI (Gutman, 1991), el cual se define como:

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{Vis}) / \text{IRC} + \text{Vis},$$

donde: IRC = Banda del infrarrojo cercano; vis = Banda del rojo.

Chuvieco (1996: 86) menciona que cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés (acame, plagas, sequía, etc.), su reflectancia será inferior en el infrarrojo cercano y rojo, con lo que el contraste entre ambas bandas será mucho menor en relación con una vegetación sana de gran vigor. En síntesis, puede señalarse que a mayor contraste entre las reflectancias de las bandas del infrarrojo y rojo, mayor vigor vegetal presentará una cobertura observada; por su parte, los bajos valores de esta relación indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a coberturas sin vegetación como el suelo desnudo que reporta índices cercanos al cero (Soria *et al.*, 1998: 39). Este índice toma valores entre -1 y 1 y es, sin lugar a duda, el más utilizado en aplicaciones agronómicas (Granados-Ramírez, 2004: 1620). Puede establecerse como umbral crítico para coberturas vegetales un valor de NDVI de 0.1, y para la vegetación densa, de 0.5. Estos índices se obtienen a partir de las bandas 4 y 3 del sensor TM y las bandas 2 y 1 del AVHRR.

Los índices de vegetación obtenidos a partir del sensor AVHRR del satélite NOAA se emplean de modo rutinario para el seguimiento de las condiciones de la cubierta vegetal en la super-

ficie terrestre, como una variable clave en los estudios de cambio global y regional (Walker y Turner, 1990: 38 y Stockli y Vidale, 2004: 3305). Su alta resolución temporal (una escena cada 12 horas), su cobertura global de Tierra y su fácil adquisición explican el papel protagónico de este sensor para estudios de vegetación (Foody y Curran, 1994: 94 y Wang *et al.*, 2004: 3130). Sin embargo, al comparar las características espectral y espacial de este sensor (5 bandas y 1.1 km² por pixel) se nota una clara desventaja frente al Landsat-TM (7 bandas y 625 m² por pixel), si pretenden analizarse coberturas vegetales en áreas de topografía heterogéneas, clima y suelos diversos, entre otros estudios (Calva y Palmeiri, 2004: 3115; Warren y Goward, 2004: 536,539). Como ejemplo se presentan los valores de NDVI obtenidos por ambos sensores en

seis parcelas de maíz dentro del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 05 de Cortazar, Guanajuato, México, en dos diferentes fechas. Como puede apreciarse en el cuadro 2, los valores promedios de NDVI reportados por ambos sensores, cuyas escenas corresponden a las mismas fechas, muestran resultados con diferencias promedio de 0.2561 en las escenas del 3 de agosto, y de 0.1519 en las del 27 de septiembre.

La diferencia entre los valores de NDVI antes señalados dio origen a la búsqueda de una respuesta sobre el comportamiento de este parámetro, razón por la cual fue propuesto el siguiente objetivo:

Conocer la relación y comportamiento de los valores del índice de vegetación obtenidos en los pixeles del Landsat-TM con el valor del NDVI equivalente a un pixel del NOAA-AVHRR.

Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

Las diferencias entre los valores de NDVI obtenidos mediante imágenes Landsat-TM en comparación con NOAA-AVHRR son mínimas.

Es posible aplicar la tecnología de sensores remotos (NOAA-AVHRR-NDVI) en regiones donde se practica una agricultura extensiva y con clima relativamente homogéneo a bajo costo.

1. Materiales y métodos

1.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica dentro del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 05 de Cortazar, Guanajuato, México,

Cuadro 1. Características de los sensores AVHRR y TM.

| Sensor | Ciclo | Banda | Definición espectral (µm) | Resolución del pixel |
|---|----------|-------|---------------------------|----------------------|
| AVHRR | 12 horas | 1 | 0.58-0.68 | 1.1 km |
| | | 2 | 0.72-1.10 | |
| | | 3 | 3.55-3.93 | |
| | | 4 | 10.3-11.3 | |
| | | 5 | 11.5-12.5 | |
| Landsat-TM | 16 días | 1 | 0.45-0.52 | 30 m |
| | | 2 | 0.52-0.60 | |
| | | 3 | 0.63-0.69 | |
| | | 4 | 0.76-0.90 | 120 m |
| | | 5 | 1.55-1.75 | |
| | | 6 | 2.08-2.35 | |
| | | 7 | 10.4-12.5 | |
| Fuentes: Campbell (1996: 177) y Reed <i>et al.</i> , (1994: 710). | | | | |

Cuadro 2. Valores de NDVI obtenidos en parcelas de maíz mediante dos tipos de sensores.

| Cobertura | Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) | | | | | |
|-----------|---|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| | Escenas del 03/08/97 | | | Escenas del 27/09/97 | | |
| | AVHRR | TM | Dif. | AVHRR | TM | Dif. |
| Maíz P1 | 0.4771 | 0.7452 | | 0.3309 | 0.5717 | |
| Maíz P2 | 0.4617 | 0.6737 | | 0.3942 | 0.5124 | |
| Maíz P3 | 0.4814 | 0.7331 | | 0.3980 | 0.5285 | |
| Maíz P4 | 0.4947 | 0.5793 | | 0.4413 | 0.5167 | |
| Maíz P5 | 0.5049 | 0.7353 | | 0.4254 | 0.6140 | |
| Maíz P6 | 0.5354 | 0.6454 | | 0.3615 | 0.5190 | |
| Promedio | 0.4225 | 0.6786 | 0.2561 | 0.3918 | 0.5437 | 0.1519 |

entre los paralelos 20° 23' y 20° 30' de latitud norte y los meridianos 100° 58' y 101° 06' de longitud oeste (figura 1). Se propuso al estado de Guanajuato porque se clasifica como una de las entidades más importantes en la producción de maíz.

Dentro de esta superficie se localiza el área comparada con ambos sensores y las seis parcelas objeto del estudio. Fue seleccionado el cultivo del maíz debido a la amplia superficie que ocupa y a la importancia económica y social que representa para el estado de Guanajuato.

1.2. Escenas utilizadas

Fueron utilizadas las imágenes clasificadas de NDVI de las escenas Landsat-TM del 3 de agosto y 27 de septiembre de 1997. Respecto a las del satélite NOAA, se utilizaron las imágenes del 2 y 7 de agosto, y del 12 y 28 de septiembre, y por interpolación lineal de datos, fueron obtenidos los índices de vegetación (NDVI) correspondientes al 3 de agosto y 27 de septiembre mediante la siguiente ecuación:

$$Y = Y_1 + (Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1) (X - X_1),$$

donde

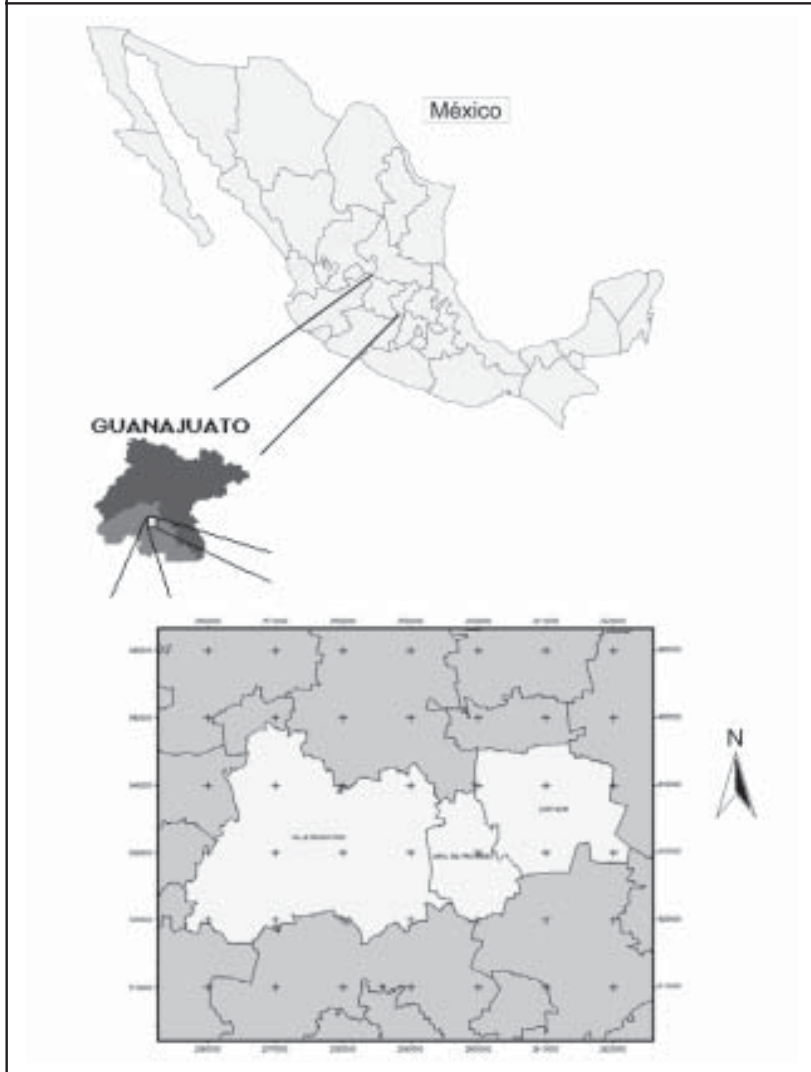
Y₁ = NDVI de la primera fecha

Y₂ = NDVI de la segunda fecha

X₁ = Primera fecha (días)

X₂ = Segunda fecha (días)

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Municipios de Valle de Santiago, Jaral del Progreso y Cortazar, Guanajuato.



X = Fecha intermedia (días)
 Y = NDVI correspondientes a la fecha intermedia

1.3. Procesamiento de imágenes NOAA-AVHRR

Se capturó la secuencia de imágenes el 2 y 7 de agosto, y del 12 y 28 de septiembre del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) del satélite *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) 14, recibidas en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM. Se utilizó el *hardware* Terascan para procesar las imágenes, cuyos pasos principales fueron: previa selección de imágenes con base en: libre de nubes y reducida distorsión; se prosiguió con la conversión de los datos de onda radio a forma-

to; se georreferenciaron, y se pasó al cálculo del índice de vegetación (NDVI).

1.4. Selección de pixel de NOAA y su recorte en Landsat-TM

Con apoyo en los sistemas de información geográfica (SIG), en las imágenes clasificadas de NDVI del satélite NOAA del 3 de agosto y 27 de septiembre fue seleccionado al azar un pixel dentro del área de estudio, el cual se ubica en la columna 1 y renglón 9, el mismo en ambas escenas. Los valores de NDVI obtenidos con AVHRR, producto de la interpolación de las escenas antes descritas para el 3 de agosto, fue de 0.5560, y 0.3671 para el 27 de septiembre.

Por coordenadas geográficas, la referencia de este pixel fue ubicado en las escenas Landsat-TM, para conocer su relación con los valores de NDVI obtenidos en los pixeles de Landsat-TM involucrados en un pixel del satélite NOAA. La figura 2 muestra la selección del pixel de las escenas NOAA y su cobertura en las escenas Landsat-TM.

Con el comando Window de Idrisi™ (Eastman, 1993: 102) se procedió a realizar el recorte de la imagen Landsat-TM equivalente a un pixel del satélite NOAA; posteriormente, fueron obtenidos los valores de NDVI de todos los pixeles del Landsat-TM, a través de la conversión del formato binario de la imagen al código ASCII.

1.5. Relación entre la resolución espacial de ambos sensores

La adquisición de imágenes Landsat fue hecha a través del proveedor mundial EOSAT™/SM Customer Services Department, cuyas escenas analizadas poseían un tamaño de pixel de 25 m. según el encabezado de la imagen.

Las imágenes NOAA-AVHRR fueron seleccionadas y procesadas en la estación de trabajo UNIX del Laboratorio de Sistemas de información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM.

Para determinar el número de pixeles de Landsat-TM equivalentes a un pixel de NOAA-AVHRR, y según las indicaciones del encabezado (*header*) de las escenas, la relación obtenida fue la siguiente:

Como la resolución espacial de NOAA-AVHRR es de $1.050 \times 1.050 \text{ km} = 1.1025 \text{ km}^2$; resolución espacial de Landsat-ETM es de $25 \times 25 \text{ m} = 0625 \text{ m}^2$
 Si $1 \text{ km}^2 = 1,000,000 \text{ m}^2$

Entonces:
 $1.1025 \text{ km}^2 = 1,102,500 \text{ m}^2$

Por lo tanto:
 Un pixel de NOAA-AVHRR = $1,102,500 \text{ m}^2$
 Un pixel de TM = 625 m^2

Finalmente:
 Un pixel de NOAA-AVHRR = 1,764
 pixeles de Landsat-TM

La relación anterior implica que un pixel de NOAA presenta una dimensión de $1,050 \times 1,050 \text{ m}$, equivalente a 42×42 pixeles de Landsat-TM, lo que reporta un total de 1,764 pixeles.

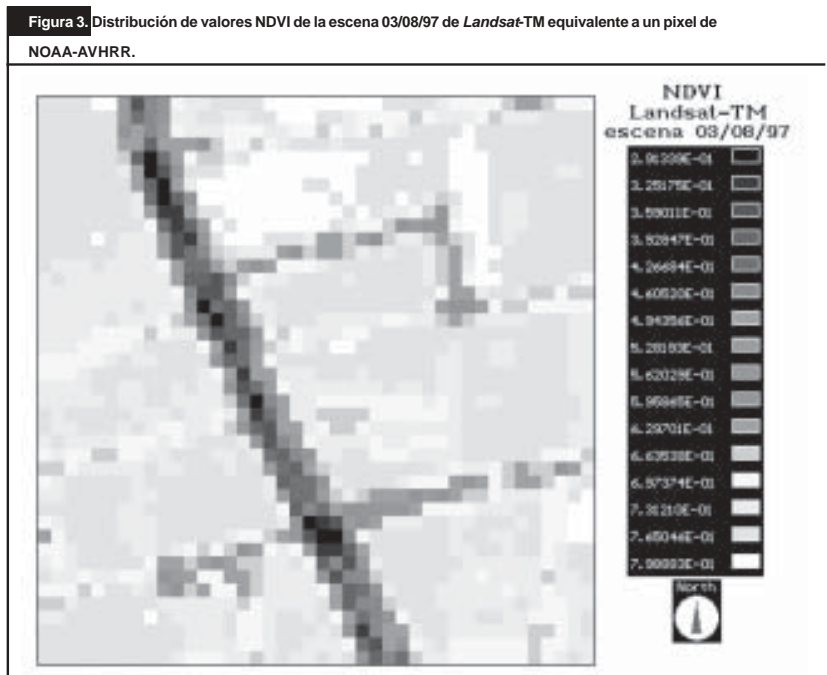
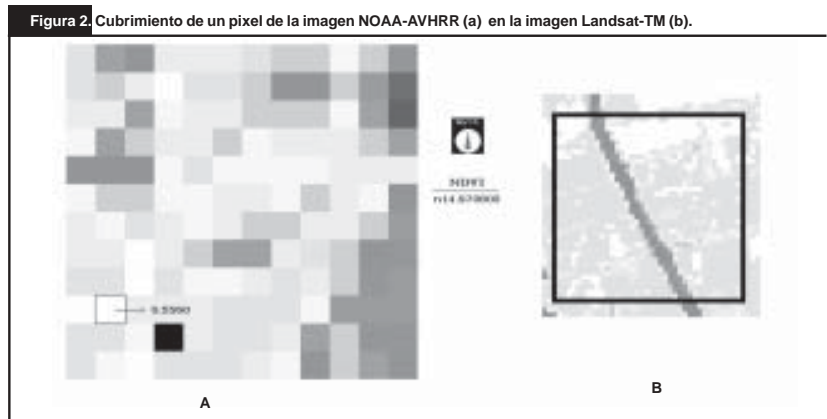
1.6. Histogramas de frecuencias

A partir de los valores NDVI de los pixeles de las escenas del 3 de agosto y 27 de septiembre de Landsat-TM, se procedió a la obtención de algunas medidas de dispersión y de tendencia central, así como el histograma de frecuencias.

2. Resultados y discusión

2.1. Distribución de valores NDVI de imágenes Landsat-TM

Puede apreciarse la distribución de NDVI en los pixeles de Landsat-TM equivalentes a un pixel de NOAA-AVHRR en forma gráfica y en tercera dimensión en la figura 3, la cual corresponde a los índices de vegetación del 3 de agosto. Ahí se observa principalmente un claro contraste entre vías de comunicación y cultivos: los pixeles más oscuros (azul y negros) con valores NDVI bajos ($2.91339-4.6052$) están asociados con el pavimento de una carretera. Los pixeles rojos corresponden a los caminos de terracería con acceso a las áreas agrícolas. Las zonas cultivadas poseen los pixeles más claros y valores de NDVI altos, que oscilan entre $7.3121-7.9888$. Como se nota, los índices de vegetación están asociados con el paisaje cultivado, predominante de maíz con

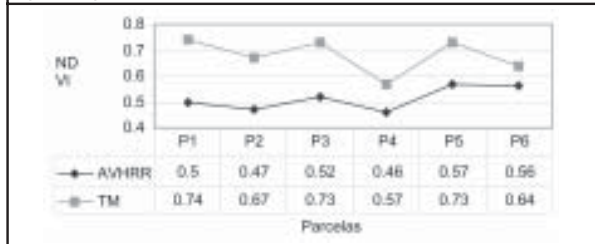


diferencias mínimas de índices de vegetación. La distribución de valores de NDVI en tercera dimensión no presenta fuertes contrastes, ya que se trata de valores entre $7.3121-7.9888$, excepto la zona pavimentada que se observa como un valle debido a que presentó valores de NDVI bajos.

Siguiendo con el mismo pixel de NOAA-AVHRR y los equivalentes del Landsat-TM, al relacionar el valor promedio de NDVI que reportan estos sensores, se encuentran diferencias de 0.1426 en la primera fecha y 0.1195 en la segunda fecha de análisis (cuadro 3). En este caso, el sensor TM sobrevaluó el índice de vegetación con una de 0.13 promedio de las diferencias de ambas fechas.

Por otra parte, y como se aprecia en la figura 4, en seis parcelas de maíz los resultados de NDVI que reportan estos

Figura 4. Comportamiento del NDVI en la etapa de floración de maíz obtenido por dos tipos de sensores.



Cuadro 3. Índice de vegetación obtenido de un pixel del sensor AVHRR y su equivalente en los pixeles del sensor TM.

| Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) | | |
|---|---------------------|---------------------|
| Sensor | Escena del 02/08/97 | Escena del 02/08/97 |
| NOAA-AVHRR | 0.5560 | 0.33671 |
| Landsat-TM | 0.6986 | 0.4866 |
| Diferencia: | 0.1426 | 0.1195 |

sensores en la etapa de floración presentan una tendencia similar a los del cuadro 3. En todas las parcelas, los valores de NDVI del sensor TM fueron ligeramente superiores a los reportados por el sensor AVHRR del NOAA, con una diferencia promedio de 0.17.

La diferencia en los resultados reportados por ambos sensores se debe a la resolución espacial (tamaño de pixel) y espectral (amplitud de bandas). A menor tamaño de pixel, como sucede con Landsat-TM, es menor la probabilidad de que el valor del NDVI sea un compuesto de dos o más coberturas fronterizas; es decir, la señal captada por este sensor resulta más cercana al valor propio de cada cobertura. En el caso de un pixel de NOAA en una zona con características geográficas heterogéneas, el valor sería mixto, ya que estaría definido por un valor intermedio de las distintas coberturas que lo componen. En lo referente a la resolución espectral, un sensor será más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione y que, además, dichas bandas sean lo menos estrechas posible sobre todo para zonas de heterogeneidad física, edáfica y climática; tal es el caso del sensor TM cuya banda roja se ubica en el rango de 0.63-0.69 mm, y la del infrarrojo cercano, que oscila entre 0.76-0.90 mm. Por su parte, las bandas roja e infrarrojo cercano del sensor AVHRR se ubican en el rango de 0.58-0.68 mm y 0.72-1.10 mm del espectro, respectivamente, útiles para estudios de monitoreo de cultivos en grandes extensiones.

Como se muestra en el cuadro 4, y tomando como ejemplo el mismo pixel de NOAA y su equivalente en el Landsat-TM, el valor de reflectancia de un pixel de la banda roja del sensor AVHRR es superior respecto al valor de la media y moda reportado por el sensor TM. Por su parte, el infrarrojo cercano, el valor de reflectancia media y moda que reporta el TM del Landsat es superior respecto a lo reportado

por el pixel del sensor AVHRR del NOAA. Lo anterior ocasiona que el índice de vegetación promedio reportado por el sensor TM sea ligeramente superior al compararlo con lo obtenido a través del sensor AVHRR.

La menor resolución espectral y espacial de las imágenes del satélite NOAA pueden encubrir la diferencia entre coberturas, sobre todo cuando este sensor es utilizado en regiones con sistemas de producción agrícola muy heterogénea y tenencia de la tierra de tipo parcelario.

2.2. Estadísticas e histograma de las imágenes Landsat-TM

Al igual que cualquier variable estadística, la operación más común que puede realizarse con una imagen es describir sus medidas de tendencia central y su dispersión; en este caso, conocer cuál es la tendencia general del NDVI y el nivel de homogeneidad que existe entre los pixeles que lo componen. Además, resulta de gran interés contar con el histograma de frecuencias, ya que proporciona información sobre la distribución de valores en la imagen. Las figuras 5 y 6 muestran los histogramas de frecuencia de NDVI de las escenas Landsat-TM del 3 de agosto y 27 de septiembre, respectivamente.

En el caso de la figura 5, el rango de valores de NDVI para la fecha del 3 de agosto fluctúa entre 0.291 y 0.798, cuyo promedio es de 0.6966. El valor más frecuente, es decir, el que más se repite (moda), es 0.75, y el valor central conocido como mediana es de 0.731.

La figura 6 expone que el rango de valores de NDVI para la fecha del 27 de septiembre oscila entre 0.213 y 0.629 con un promedio de 0.4866. El número que más se repite, el más frecuente, es el 0.504, y el valor central le corresponde al 0.500.

Algunos autores han mostrado interés en el histograma para realizar una primera valoración de la imagen. Jensen (1996: 66) menciona que su localización permite deducir la tonalidad dominante de cada banda; su anchura está relacionada con el contraste, mientras que la presencia de picos puede atestiguar determinadas clases de cobertura. En los casos analizados la presencia de un pico principal coincide con la presencia de un solo cultivo, el maíz.

Conclusiones

La discusión realizada de los resultados obtenidos permite concluir lo siguiente:

La selección de las imágenes de satélite (Landsat o NOAA) está en función del nivel de detalle que quiera lograrse en el estudio que pretende realizarse, de la disponibilidad de recursos económicos, así como del equipo informático,

las características del tamaño y a la parcelación de la zona, el tipo de cubiertas tiene y que condicionan la necesidad de estudios multitemporales.

La resolución espectral y espacial de las imágenes de satélite NOAA-AVHRR pueden enmascarar diferencias entre cultivos, sobre todo cuando las imágenes son utilizadas en regiones con sistemas de producción agrícolas muy heterogéneas y tenencia de la tierra de tipo parcelario, como es el caso de muchas regiones de México. Estas imágenes deben ser utilizadas sólo en regiones donde se practica una agricultura extensiva y uniforme como en el valle del Yaqui, en Sonora, los valles del Mayo, del Carrizo y del Fuerte de Sinaloa, y la región del Bajío, entre otras; de ser necesario más detalle, tanto de vegetación, suelo y geología en lugares específicos, deben examinarse utilizando datos de satélites con mayor resolución.

El índice de vegetación que reporta el sensor TM, en todos los casos discutidos, es mayor al compararlo con lo reportado por el sensor AVHRR. Esta diferencia se debe a la mayor resolución espectral del sensor TM, es decir, a que sus bandas presentan menor amplitud, lo cual se hace evidente en la mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y menor en el rojo respecto al sensor AVHRR. Esta relación originó que el índice de vegetación reportado por el Landsat-TM fuera superior.

La mayor resolución espacial del sensor Landsat-TM discrimina con mayor eficiencia una cobertura de otra, y reduce la probabilidad de que se trate de coberturas fronterizas.

La resolución espacial del sensor AVHRR (1 km x1 km) es muy apropiada para detectar cambios en zonas cultivadas, así como en la densidad y en el vigor de los cultivos y su relación con algunas variables meteorológicas.

Cuadro 4. Comportamiento espectral de las bandas infrarroja cercana y roja de un pixel de NOAA-AVHRR y su equivalente en Landsat-TM.

| Sensor | Fecha | Píxeles | | Reflectancia (%) | | NDVI |
|--------|----------|---------|--------|------------------|------|------|
| | | | | Irc | R | |
| AVHRR | 03/08/97 | 1 | | 95.2 | 27.0 | 0.55 |
| | 27/09/97 | 1 | | 69.0 | 32.0 | 0.36 |
| TM | 03/08/97 | 1,764 | Media: | 129.0 | 22.8 | 0.69 |
| | | | Moda: | 130.0 | 20.0 | |
| | 27/09/97 | 1,764 | Media: | 97.9 | 30.2 | 0.48 |
| | | | Moda: | 88.0 | 28.0 | |

Donde: IRc= Infrarrojo cercano y R = rojo.

Figura 5. Histograma de frecuencia de NDVI de la escena Landsat-TM del 3 de agosto de 1997 equivalente a un pixel de NOAA-AVHRR.

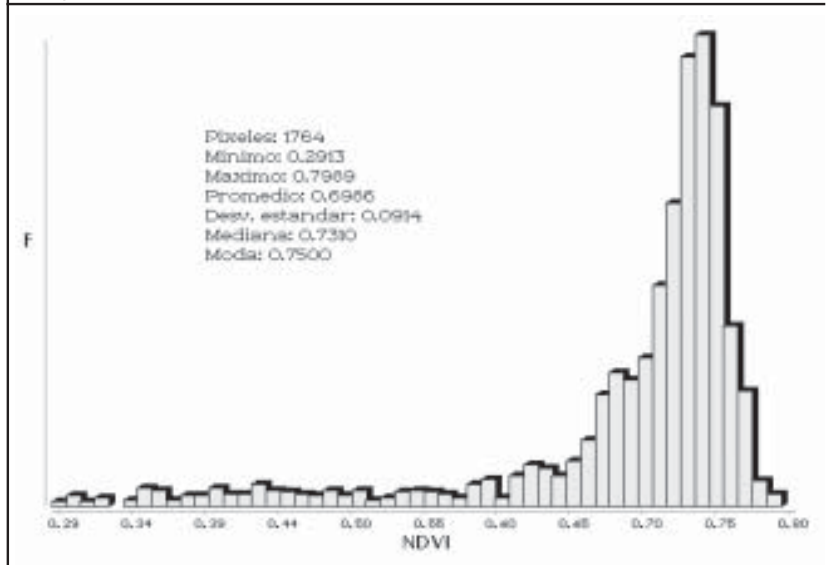
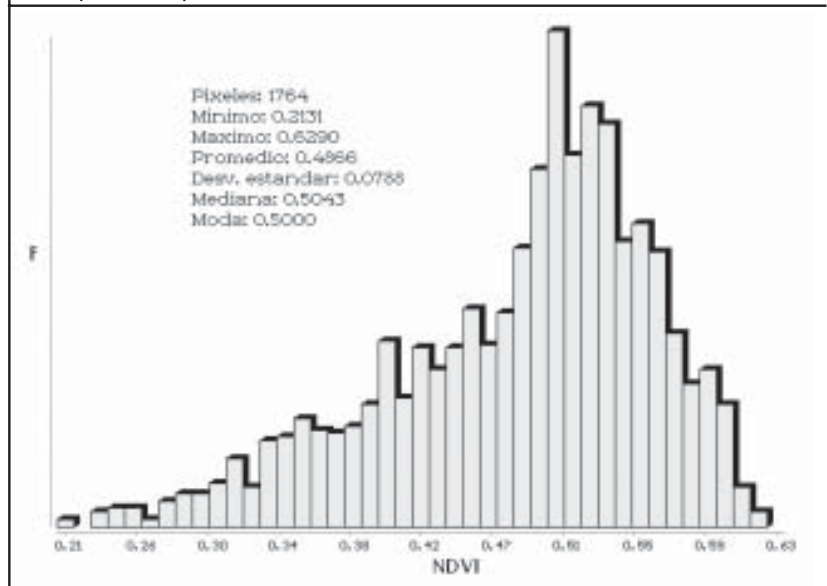


Figura 6. Histograma de frecuencia de NDVI de la escena Landsat-TM de la escena de 27 de septiembre de 1997 equivalente a un pixel de NOAA-AVHRR.



- Calva, O. T. y J. Palmeiri (2004). "Mapping Mediterranean Scrub with Satellite Imagery: Biomass Estimation and Spectral Behaviour", *International Journal of Remote Sensing* Vols. 25-16: 3113-3126.
- Campbell, J. B. (1996). *Introduction to Remote Sensing* 2a. ed. Virginia Polytechnic Institute and State University, The Guilford Press, Nueva York.
- Chuvieco, S. E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. 3a. ed. Revisada. Ediciones Rialp, Madrid.
- Eastman, J. R. (1993). *Idrisi. Versión 4.1 Update Manual*. Clark University Worcester, Ma.
- Foody, G. M. y P. Curran (1994). *Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Gibson, J. P. (2000). *Introductory Remote Sensing Principles and Concepts*. Routledge, Nueva York.
- Gilabert, M. A.; J. González-Piqueras y F. J. García-Haro (1997). "Acerca de los índices de vegetación", *Revista de Teledetección*. España.
- Granados-Ramírez R.; T. Reyna-Trujillo; G. Gómez-Rodríguez y J. Soria-Ruiz (2004). "Analysis of NOAA-AVHRR-NDVI Images for Crops Monitoring", *International Journal of Remote Sensing* Vol. 25-9: 1615-1627.
- Gutman, G. G. (1991). "Vegetation Index from AVHRR: An Update and Prospects", *Remote Sensing of Environment*. 23: 121-135.
- Jensen, J. R. (1996). *Introductory Digital Image Processing A remote Sensing Perspective* 2a ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey.
- Reed, B. C.; F. J. Brown; D. Vander Zee; T. R. Loveland; J. W. Merchant y D. O. Ohlen (1994). "Measuring Phenological Variability From Satellite Imagery", *Journal of Vegetation Science*, 5: 703-714.
- Soria, R. J.; C. Ortiz; F. Islas y V. Volke (1998). *Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. Experiencias en México*. Publicación especial 7. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Stockli, R. y P. I. Vidale (2004). "European Plant Phenology and Climate as Seen in a 20-year AVHRR Land-Surface Parameter Dataset", *International Journal of Remote Sensing* Vol. 25-17: 3303-3330.
- Walker, B. H. y S. J. Turner (1990). "Non-modeling Research Requirements for Understanding, Predicting and Monitoring Global Change", *Global Change Report*. 11: 23-50.
- Wang, J., P. Rich, M. K. Price y W. Kettle (2004). "Relations between NDVI and Tree Productivity in the Central Great Plains", *International Journal of Remote Sensing* Vol. 25-16: 3127-3138.
- Warren, B. C. y S. N. Goward (2004). "Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing", *Bioscience*. 54-6: 535-545.