

CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA DE LOS CANALES VISIBLES 1 Y 2 DEL SENSOR AVHRR/2 DEL SATÉLITE EN ÓRBITA POLAR NOAA - 14 PARA LA ESTIMACION DEL NDVI

Joel Rojas Acuña, José Carlos Eche Llenque, Pedro Tito Sandoval,
Arturo Lauro Gamarra y Octavio Fashé Raymundo

Laboratorio de Teledetección
Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Apartado Postal 14-0149, Lima 14 - Perú.
d220092@unmsm.edu.pe

José Luis Casanova Roque, Abel Calle Montes y Alfredo Romo Arranz

Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Aplicada I,
Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid, España
jois@latuv.uva.es

ABSTRACT: The calibration of the original HRPT and LAC images, corresponding to channels 1 and 2 of the AVHRR sensor of the NOAA-14 satellite in polar orbit has been undertaken with the purpose of estimating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) above Peru. The imagery data used were obtained from IMARPE, ABTEMA, INPE and SAA, and are in binary 16 bits per pixel format for the 5 channels. Reflectance images for channels 1 and 2 images have been obtained in 16 bits (data type: integers). Afterwards, the NDVI is obtained using an equation in which the information from the reflectance images is used. The imagery data product of the vegetation indices are obtained for every day from January to February 1999. We pretend to obtain monthly and 10-day images to get an average NDVI using the method of compound máxima. Finally, we are preparing a time series for this parameter from January 1980 until June 2001.

Keywords: normalized difference vegetation index, reflectance, teledetection, Peru.

SUMILLA: Se ha efectuado la calibración de las imágenes HRPT y LAC originales de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR del satélite en órbita polar NOAA-14 con la finalidad de estimar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre Perú. Los datos imagen utilizados fueron obtenidos de IMARPE, ABTEMA, INPE y SAA, y están en un formato binario de 16 bits por píxel para los 5 canales. Se ha obtenido las imágenes de reflectancia para las imágenes de los canales 1 y 2 en 16 bits (tipo de dato: entero). Luego, se obtiene el NDVI usando una ecuación matemática en la que se utiliza información de las imágenes de reflectancia. Se obtiene datos imagen productos de los índices de vegetación para cada día de los meses de enero y febrero de 1999. Se pretende conseguir imágenes mensuales y de 10 días para conseguir un NDVI promedio usando el método de los compuestos máximos. Finalmente, está en preparación la obtención de una serie de tiempo de este parámetro desde enero de 1980 hasta junio 2001.

Palabras Claves: índice de vegetación por diferencia normalizada, reflectancia, teledetección, Perú.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo la calibración de las imágenes de las bandas o canales visibles 1 y 2 del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) del satélite en órbita polar NOAA-14 para la estimación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para todos los días y un compuesto mensual, sobre Perú,

para el año 1999. Uno de los pasos mas importantes para la obtención del NDVI es la calibración radiométrica de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR. Este método consiste en convertir el nivel de gris del píxel de la imagen original a un parámetro físico, ya sea la radiancia o reflectancia, a partir de los coeficientes de calibración obtenidos mediante varios métodos de calibración. Cabe

mencionar que los canales 1 y 2 del sensor AVHRR fueron calibrados solamente antes del lanzamiento del satélite y no estuvieron calibrados al momento de adquisición de la imagen.

Las imágenes usadas como datos fueron obtenidas del IMARPE, ABTEMA (Asociación Boliviana de Teledetección y Medio Ambiente) y SAA/NOAA, y corresponden a las imágenes originales del tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission) y LAC. Estos datos imagen son de los meses de enero y febrero de 1999.

Los resultados se muestran a través de las imágenes productos del NDVI para el Perú. Ellas muestran una vegetación abundante en la Selva, escasa en la Sierra y muy escasa en la Costa.

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

La calibración radiométrica de los canales 1 y 2 de los datos del sensor AVHRR del satélite NOAA-14 es un paso importante y delicado en el procesamiento de las imágenes para la obtención del NDVI. Es por ello que se ha tratado de hacer una descripción amplia y clara sobre el tema.

2.1 Calibración radiométrica

La calibración radiométrica trata de la recuperación de la radiancia que detecta el sensor, el cual luego la convierte a cuentas digitales que se registran en una PC. Esta radiancia puede ser expresada en términos de reflectancia a través de la normalización por la irradiancia solar. Los canales de reflectancia solar, como se les conoce a los canales 1 y 2 del sensor AVHRR del satélite en órbita polar NOAA - 14, no tienen una fuente de calibración a bordo del satélite, pero si fueron calibrados antes del lanzamiento de la nave. Existen varios métodos de calibración que han sido desarrollados para la calibración de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR después del lanzamiento.

A continuación presentamos los fundamentos físicos y matemáticos para realizar la calibración radiométrica indicada.

2.1.1 Radiancia por banda

El instrumento (AVHRR) responde a la radiancia entrante integrándola sobre toda la banda espectral del canal en cuestión. Esta radiancia integrada, para la i -ésima banda, es definida como:

$$\bar{I}_i = \int_0^{\infty} \phi_i(\lambda) I(\lambda) d\lambda,$$

donde $\phi_i(\lambda)$ es la función de respuesta espectral del instrumento en la i -ésima banda e $I(\lambda)$ es la radiancia espectral en la apertura del instrumento.

2.1.2 Radiancia espectral media

Es usual definir una radiancia espectral media en base a la radiancia integral por banda medida. La radiancia espectral media se define como:

$$I_i = \frac{\bar{I}_i}{\omega_i}$$

donde ω_i es el ancho efectivo de la i -ésima banda espectral, definido como:

$$\omega_i = \int_0^{\infty} \phi_i(\lambda) d\lambda$$

2.1.3 Factor de reflectancia

Para fines prácticos expresaremos la radiancia del instrumento como un porcentaje de reflectancia, R_i . Este factor es definido como la razón de la radiancia entrante sobre una superficie Lambertiana, que produzca la radiancia por banda medida, a la radiancia solar extraterrestre, es decir:

$$R_i = \frac{\pi \bar{I}_i}{\bar{F}_i(r)} \times 100,$$

donde R_i se expresa en porcentaje y $\bar{F}_i(r)$, que se expresa en W/m^2 , es la radiancia solar extraterrestre integrada sobre la banda espectral del i -ésimo canal a una distancia Sol-Tierra igual a r . Es importante distinguir el factor de reflectancia de otros productos tales como la *reflectancia direccional en la cima de la atmósfera*, definida como:

$$r_i = \frac{\pi \bar{I}_i}{\bar{F}_i(r) \cos \theta_0}$$

donde θ_0 es el ángulo cenital del Sol. Nótese que para una radiancia por banda constante, el factor de reflectancia varía durante todo el año debido a la elipticidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Esta variación estacional puede ser expresada como:

$$\bar{F}_i(r) = \bar{F}_i(1AU)r^{-2}$$

donde $\bar{F}_i(1AU)$ es la radiancia extraterrestre por banda a la distancia de una unidad astronómica (AU) y r es la distancia Sol - Tierra en AU, que está dada por:

$$r = 1.00014 - 0.01671 \cos(g) - 0.00014 \cos(2g),$$

donde g es la anomalía media, expresada en grados por:

$$g = (0.9856003 d_{1975} - 2.97394) \text{ mod } 360,$$

donde d_{1975} es el número de días transcurridos desde mediodía UT del 31 de diciembre de 1974, tal que al mediodía UT del 1 de enero de 1975, $d_{1975}=1$.

2.1.4 Sensor AVHRR/2

2.1.4.1 Radiancia espectral por banda

Las cuentas digitales registradas por el instrumento son tomadas como una función lineal de la radiancia por banda en la apertura del instrumento, esto es:

$$C_i = C_{0i} + g_i \bar{I}_i$$

donde i es el número de canal, C_{0i} es el conteo de fondo, correspondiente a la respuesta del instrumento para una radiancia cero, \bar{I}_i es la radiancia por banda en $W m^{-2} sr^{-1}$, y g_i es la respuesta de la radiancia por banda en unidades de cuentas/ ($W m^{-2} sr^{-1}$). Dados C_{0i} y g_i , la radiancia inferida a partir de la respuesta C_i en cuentas es:

$$\bar{I}_i = (C_i - C_{0i}) / g_i$$

2.1.4.2 Radiancia espectral

La relación análoga entre cuentas y la radiancia espectral media es:

$$I_i = (C_i - C_{0i}) / h_i$$

donde:

i : es el número de canal,

C_{0i} : es el conteo de fondo correspondiente a la respuesta del instrumento para una radiancia igual a cero,

I_i : radiancia espectral en $W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$ y

h_i : respuesta de la radiancia espectral, cuentas/($W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$).

Cabe recordar que los canales 1 y 2 del sensor AVHRR están en los siguientes rangos de longitud de onda:

Canal	Rango de Longitudes de onda
1	(0.58 - 0.68) μm
2	(0.725 - 1.10) μm

2.1.4.3 Factor de reflectancia

Siguiendo la convención adoptada por la NOAA, la relación entre el factor de reflectancia y las cuentas digitales se escribe como:

$$\rho_i = (C_i - C_{0i}) S_i$$

Donde S_i , que es llamado parámetro "slope" o pendiente; se expresa en unidades de porcentaje de reflectancia por unidad de cuenta. S_i es una función de la distancia Sol-Tierra y puede ser escrita como:

$$S_i(r) = S_i(1AU)r^2,$$

donde:

$S_i(1AU)$: parámetro "slope" o pendiente para una distancia Sol-Tierra de 1 AU.

r : distancia Sol - Tierra; ver sección 2.1.3

d_{1975} : es el número de días pasados desde el medio día UT del 31 de diciembre de 1974, tal que al medio día UT del primero de enero de 1975, $d_{1975} = 1$.

Todas las tabulaciones de $S_i(1AU)$ pueden ser obtenidas vía Internet de la dirección

<http://www.dar.csiro.au/rs/CalWatch/node16.html>.

La reflectancia se expresa generalmente en unidades de porcentaje, es decir, con valores entre 0 (cero) y 100. Para darnos una idea de los valores de la reflectancia; el valor de reflectancia nula indica que la radiación solar ha sido absorbida completamente y está asociada generalmente a los océanos, lagos, mares, etc.; en cambio, un valor de

reflectancia de 100 indica que la radiación solar ha sido reflejada totalmente y está asociada generalmente a nubes, nieve, hielo, etc.

2.2 El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Para la obtención del NDVI se ha desarrollado diversas técnicas para estudiar de maneras cualitativa y cuantitativa el estado de la vegetación a partir de medidas espectrales obtenidas por satélites. Con el fin de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multispectrales a una sola dimensión, se ha definido el índice de vegetación. Los índices de vegetación son combinaciones de bandas espectrales, cuya función es realzar la contribución de la vegetación en función de la respuesta espectral de una superficie y atenuar la contribución de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera, etc.

Todos los organismos fotosintéticos (cuya fuente de alimentación es la radiación solar) contienen uno o más pigmentos capaces de absorber la radiación visible que inicia las reacciones fotoquímicas y fotosintéticas. Dos bandas del espectro, la azul (430 nm) y la roja (600 nm) muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas; por contraste, la banda del infrarrojo cercano (750-1100 nm) actúa justo de forma inversa. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano, es la diferencia espectral en la respuesta de toda vegetación, y ha sido usada durante mucho tiempo como forma de diferenciación de las superficies con y sin vegetación.

Basándose en la diferencia de las reflectancias que la vegetación verde muestra en la banda visible (20%) y en el infrarrojo cercano (60%), y correspondiendo la banda 2 al infrarrojo cercano y la banda 1 al visible de la región espectral de las imágenes HRPT de los satélites NOAA, se ha llegado al Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI). El intervalo de valores obtenido del NDVI, varía entre (-1) y (+1). De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación.

Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona. Los valores de NDVI para un mes dado pueden ser expresados en valores absolutos o en valores relativos comparados con promedios de series históricas para ese mismo mes. El NDVI utiliza los canales 1 (espectro visible, VIS) y 2 (infrarrojo

cercano, NIR) del sensor AVHRR del satélite en órbita polar NOAA-14.

En condiciones normales, la vegetación viva tiene reflectancia baja en el espectro VIS y alta en el espectro NIR. Cuando una cobertura vegetal se encuentra en estrés, tiende a absorber menos radiación solar en el VIS aumentando su reflectancia y a absorber más en el NIR. De esta manera la diferencia entre reflectancia de los canales 2 y 1: $\rho_2 - \rho_1$ (índice diferencial) tiende a decrecer cuando la cobertura vegetal está afectada por algún factor de estrés (deficiencia de agua, enfermedades, plagas, etc.). El índice de vegetación por diferencia normalizada se define como:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

Los valores de NDVI oscilan entre (-1) y (+1). El índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas.

La interpretación del índice debe asimismo considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para distinguir las oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución espacial causados por otros factores.

◦ El agua tiene reflectancia $\rho_1 > \rho_2$, por lo tanto, valores negativos de NDVI.

◦ Las nubes presentan valores similares para ρ_1 y ρ_2 , por lo que su NDVI es cercano a 0.

◦ El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos aunque no muy elevados.

◦ La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.

Los píxeles del sensor AVHRR del NOAA-14 corresponden a un área de tamaño aproximado de 1,1 x 1,1 km en el nadir.

La atmósfera, especialmente las nubes, influyen sobre las señales ρ_1 y ρ_2 , tendiendo a disminuir el valor real del NDVI. Debido a esto, los datos de NDVI mensuales corresponden al máximo valor registrado durante el mes para cada píxel al máximo valor registrado durante el mes para cada píxel, para garantizar la menor incidencia del factor nubes en el valor del índice.

3. DATOS Y ANALISIS

Los datos imagen originales HRPT y LAC fueron obtenidos de diversas fuentes. Las imágenes HRPT de 12 días de enero han sido obtenidas del IMARPE. Las imágenes originales HRPT de enero y febrero (60) han sido obtenidas de ABTEMA a través de la METEOFRENCE. Las imágenes LAC han sido obtenidas de la SAA de la NOAA a través del INTERNET ingresando a la página web <http://www.saa.noaa.gov> que comprende el período de enero y febrero de 1999.

3.1 Datos Imagen AVHRR/HRPT

La siguiente relación lista las imágenes NOAA-14 proporcionadas por IMARPE:

Nº	IMÁGENES NOAA-14 IMARPE
1	99005B14.hrp
2	99007B14.hrp
3	99008A14.hrp
4	99014B14.hrp
5	99015B14.hrp
6	99016B14.hrp
7	99018A14.hrp
8	99022B14.hrp

3.2 Tratamiento de los datos imagen

Durante el procesamiento de los datos imagen del sensor AVHRR del satélite en órbita polar NOAA-14, se ha seguido los siguientes pasos:

- Conversión del formato HRPT de 16 bits/píxel al formato BURL de 10 bit/píxel.
- Separación de los canales AVHRR de 16 bits/píxel a partir de la imagen en formato BURL.
- Cálculo de la reflectancia de los canales 1 y 2.
- Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)
- Filtrado de nubes de la imagen producto final NDVI.
- Corrección geográfica de la imagen "NDVI"
- Limitación de los valores de NDVI entre 0.1 y 0.8.
- Recescalamiento del NDVI.
- Filtrado del mar.
- Reclasificación del NDVI.
- Diseño de una paleta de colores.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En las figuras 4.1(a) y (b) se muestra las imágenes de los canales visibles 1 y 2 del día 16 de enero de 1999. Las leyendas muestran los niveles de gris para el canal 1 desde 0 hasta 937 y para el canal 2 desde 0 hasta 779. En (c) y (d) se presentan dos imágenes de la reflectancia (o albedo) en unidades de porcentaje (0 - 100%) para el día 16 de enero de 1999. En esta imagen se puede notar que al mar le corresponde una reflectancia baja, es decir, que el mar absorbe la mayor parte de la radiación que incide sobre su superficie; al suelo le corresponde una reflectancia media, es decir, que el suelo absorbe parcialmente la radiación que llega a su superficie; y a las nubes le corresponde una reflectancia alta, es decir, que las nubes reflejan casi totalmente la radiación que les llega a su superficie.

La figura 4.1 (e) muestra la imagen producto NDVI, del día 16 de enero de 1999. Se ha colocado una paleta de colores que indica el estado de la vegetación. La figura 4.2 (f) es la imagen producto mensual del NDVI obtenida a partir de 8 imágenes (de los días 5, 7, 8, 14, 15, 16, 18 y 22 de enero de 1999). Se ha colocado una paleta de colores que indica el estado de la vegetación.

5. CONCLUSIONES

A pesar de la enorme cantidad de nubes observadas en todas las imágenes procesadas, se ha calculado el índice de vegetación sobre el territorio de Perú. Se ha comprobado que la vegetación más abundante se encuentra en la Selva peruana y muy escasa en la Costa.

Los productos NDVI realzan los ríos y lagos en Perú, haciendo muy fácil su identificación.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores peruanos desean agradecer a los miembros del Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV), Dr. José Luis Casanova Roque, Dr. Abel Calle Montes y Dr. Alfredo Romo Aranz, por su apoyo en el procesamiento de las imágenes NOAA sobre Perú. También agradecemos al CONCYTEC y a la OEA por su apoyo económico a través de los contratos de subvenciones N° 954-2000-OAL y N° 645-2000-CONCYTEC-OAL.

Finalmente, damos las gracias a todos los miembros del LABTEL, de la Facultad de Ciencias Físicas, por su apoyo permanente durante el trabajo desarrollado en el año 2000.

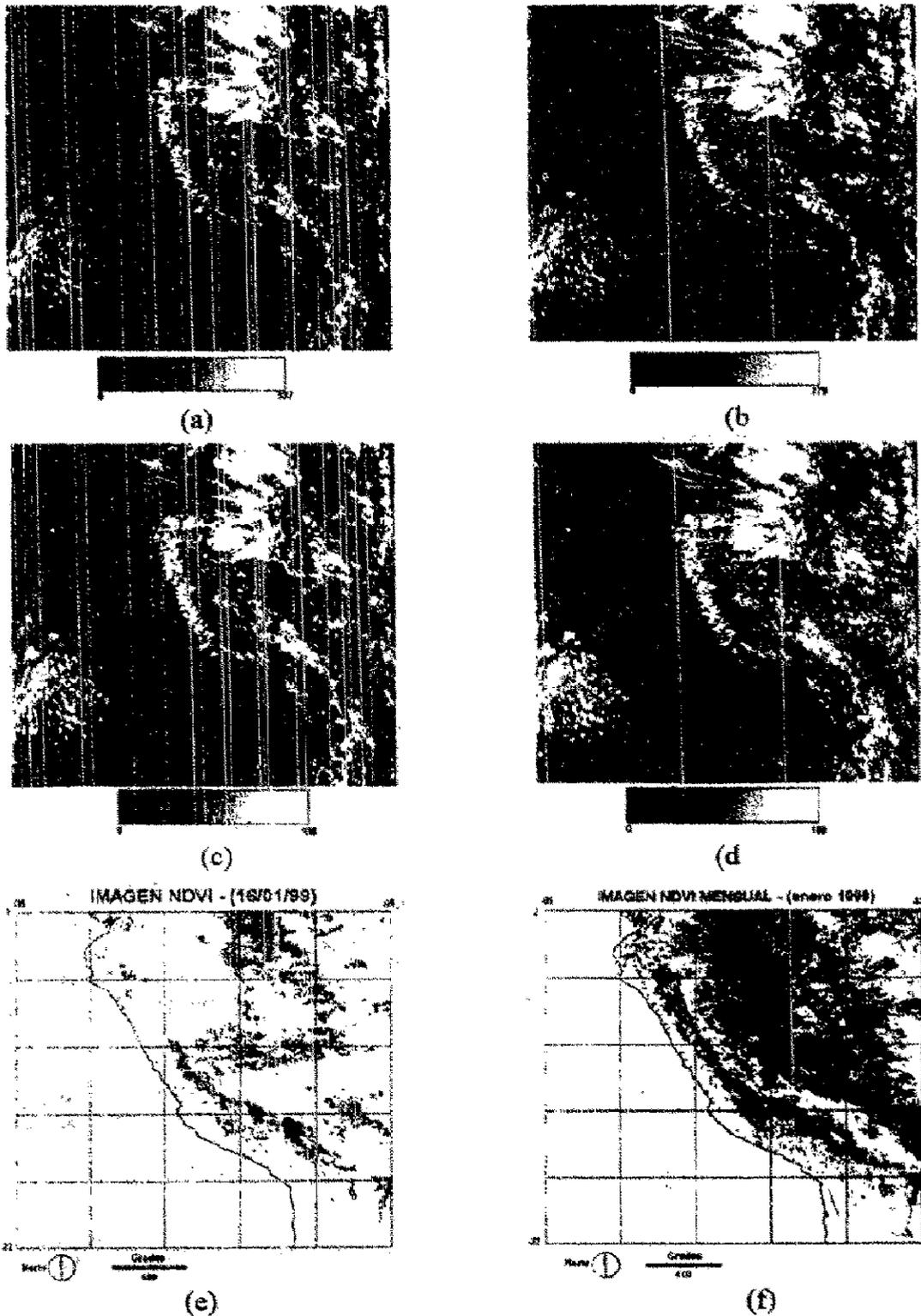


Figura 4.1 Imágenes del día 16 de enero de 1999; (a) Niveles de gris del canal 1 (b) Niveles de gris del canal 2 (c y d) reflectancia de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR (e) NDVI del 16 de enero de 1999 y (f) compuesto mensual NDVI (enero 1999).

7. REFERENCIAS

1. A. Anyamba y J.R. Eastam. "Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño/Southern Oscillation". *Int. J. of Remote Sensing*, London, England 17/13: 2533-2548 (1996):
2. E.C. Barret y L.F. Curtis. *Introduction to Environmental Remote Sensing*. Third Edition, Chapman & Hall (1992).
3. J. St. Laurent Cihlar y J.A. Dyer. "The relation between normalized difference vegetation index and ecological variables". *Remote Sensing of Environment*, 35/279-298 (1991).
4. M. L. Davenport y S. E. Nicholson. "On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa". *Int. J. of Remote Sensing*, London, England, 14/12: 2369-2389 (1993).
5. Ch. Elachi. *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. John Wiley & Sons, Inc. (1987).
6. M. Iqbal. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press (1983).
7. C. Justice, B. N. Holben y M. D. Gwynne. "Monitoring East African vegetation using AVHRR data". *Int. J. of Remote Sensing*, 7/ : 1453-1474 (1986).
8. J. Lenoble. *Atmospheric Radiative Transfer*. A. Deepak Publishing (1994)
9. K. Liou. "An Introduction to Atmospheric Radiation". Academic Press, Inc. (1980).
10. T. M. Lileand y R.W. Kiefer. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc.(1994).
11. W. T. Liu, O. Massambani y M. Festa. "Normalized difference vegetation index for the South American continent used as a climatic variability indicator", *Proceedings on the International Symposium on Remote Sensing of The Environment*, Rio de Janeiro, Brazil (Ann Arbor, U.S.A.: ERIM), pp 725-732 (1991).
12. J. P. Malingreau "The vegetation index and the study of vegetation dynamics". *Applications of Remote Sensing to Agrometeorology*. Edited by E. Toselli (Dordrecht: Kluwer),pp:285-303 (1987).
13. R. I. Negrón "Monitoramento de Variabilidade da Seca no Nordeste do Brasil Utilizando dados de NDVI e Indices do ENSO". Tese do Maestrado, Universidade de Sao Paulo (2000).
14. C. Pinilla. *Elementos de Teledetección*. RAMA. (1995).
15. J. A. Richards y X. Jia. *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*. Third Edition, Springer (1998).
16. J. Rojas A. *Modelo Físico de la Radiación Solar sobre España mediante Imágenes de Satélite*. Tesis Doctoral en Física, Universidad de Valladolid (1997).
17. G. J. Roerink, M. Menenti y W. Verhoef. "Reconstructing Cloudfree NDVI using Fourier analysis of time series". *International Journal of Remote sensing*, London, England, 21/9: 1911-1917 (2000).
18. P. N. Slater. *Remote Sensing, Optics and Optical Systems*. Addison-Wesley Publishing Company, Advanced Book Program (1980).
19. F. F. Sabins. *Remote Sensing Principles and Interpretation*. Second Edition, W.H. Freeman and Company, New York(1986).
20. J. R. G. Townshend y C. P. Justice. "Análisis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index". *Int. J. of Remote Sensing*, 7/:1435-1446 (1986).
21. C. J. Tucker, J. A. Garlin y S. R. Schneider. "Monitoring vegetation of the Nilo delta with NOAA-6 and NOAA-7 AVHRR imagery". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50/: 53-61 (1984).