

ESTUDIO DEL NDVI EN LA COSTA NORTE DE PERÚ A PARTIR DE LAS IMÁGENES NOAA-14 Y SPOT-4

Joel Rojas Acuña^a, José Carlos Eche Llenque^a, Teresa de Blas Corral^a,
José Luis Casanova Roque^b, Flavio Carrillo Gomero^c y Rómulo Miguel Ato^c

^a Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria, Facultad de Ciencias Físicas,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Apartado Postal 14-0149, Lima 14 – Perú.
jrojas@unmsm.edu.pe.

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

^c Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú.
fcarrillog@unmsm.edu.pe.

RESUMEN: Se han obtenido las imágenes diarias y mensuales del NDVI utilizando las imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA. Para conseguirlo se ha procedido a calibrar las imágenes originales en formato HRPT y LAC de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR sobre la costa norte de Perú. Los datos imágenes utilizados fueron obtenidos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) (enero 1999), y del Satélite Active Archive (SAA) (1999-2002). La corrección atmosférica no ha sido aplicada en el presente trabajo. Las imágenes NDVI del sensor VEGETATION SPOT han sido adquiridas con el propósito de compararlas con nuestros resultados. Para ello se han analizado dos series temporales de los distritos de Cayaltí y Pucallá en el periodo 1998/4 - 2002/4 y su relación con algunas variables meteorológicas (precipitación total mensual). En este trabajo las nubes juegan un papel importante ya que no permiten obtener la cubierta de la vegetación en la mayoría del territorio peruano y esto origina que en las series temporales aparezcan mínimos locales que han sido eliminados por medio de una técnica de suavizado. Las imágenes NDVI del AVHRR/2 NOAA-14 de tres departamentos de la costa norte de Perú a una

resolución espacial de 1 km² muestran una variabilidad de la vegetación muy similar a la de las imágenes NDVI del sensor VEGETACIÓN del SPOT-4 para el mismo periodo. Usando tres imágenes multiespectrales y una pancromática del satélite SPOT-4 se muestra el índice de vegetación a una resolución de 20 m² donde se pueden apreciar los efectos producidos por el efecto del Fenómeno El Niño y la Oscilación Sur (ENOS) en las áreas de cultivo y su impacto socio económico.

ABSTRACT: The daily and monthly NDVI images on the North coast of Peru have been obtained using the data image from AVHRR sensor of NOAA satellite. In order to obtain this data, the original images of channels 1 and 2 in the AVHRR sensor have been calibrated since this images were in format HRPT and LAC. The used data images were collected from the Institute of the Sea of Peru (IMARPE) (January 1999), and from the Satellite Active Archive (SAA) (1999-2002). The atmospheric correction has not been applied in the present work. The NDVI Images of VEGETATION SPOT sensor

have been acquired in order to compare them with our NDVI images, for that reason two temporary series came from the town of Cayaltí and Pucalá in period 1998/4 - 2002/4 and its relation with some meteorological variables total monthly precipitation have been analyzed. In this work the clouds play an important role since they do not allow to obtain the cover of the vegetation in most of the Peruvian territory, and as a consequence in the temporary series appear minimum values that have been eliminated by using of a smoothed technique. The NDVI Images of the AVHRR/2 sensor of the NOAA-14 Satellite of three departments of the North coast from Peru with 1 km² of space resolution show a variability of the vegetation very similar to the NDVI images of the VEGETATION Sensor of the SPOT-4 satellite within the same period. Using three multispectral and one panchromatic images from the SPOT-4 satellite and the index of vegetation with a resolution of 20 m², the effects produced by El NIÑO South Oscillation (ENSO) in agriculture areas and their economic impact can be appreciated.

Palabras claves: Teledetección, NDVI, Cayaltí, Pucalá, AVHRR, VEGETATION

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es el estudio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre la costa norte de Perú utilizando las imágenes AVHRR/2 del NOAA-14 y las imágenes captadas por el sensor VEGETATION del SPOT-4. Los mapas imágenes del NDVI diario, 10 días y mensual de la costa norte de Perú para el periodo 1999 – 2002 se han obtenido en el LABTEL. Esta serie de tiempo y espacio permite estudiar el comportamiento de la vegetación y relacionarlo con el evento Oscilación Sur El Niño (Davenport M.L. y Nicholson S.E., 1993; Negron R.I., 2000; Anyamba A. y Eastam J.R., 1996; Anyamba A. 1994; Chilar, et al, 1991; Liu, et al. 1991; Tucker, et al. 1984).

Los datos imágenes originales usados en este trabajo han sido obtenidos del IMARPE y del SAA ([http://](http://www.saa.noaa.gov)

www.saa.noaa.gov). Se ha trabajado con 12 datos imágenes originales del mes de enero de 1999 (IMARPE) mientras que los datos imágenes originales LAC del sensor AVHRR/2 del NOAA-14 de la SAA son del periodo de enero 1999. Además se han empleado 157 imágenes del sensor VEGETATION del SPOT-4 del periodo 1998/4 - 2002/4 (<http://free.vgt.vito.be>). Las imágenes del sensor VEGETATION son imágenes NDVI de América del sur con una resolución espacial de 1 km y con una resolución temporal de 10 días. Por último se han utilizado tres imágenes multiespectrales y una pancromática del sensor HRV del SPOT-4 que abarcan una pequeña región de la costa norte de Perú.

Uno de los pasos más importantes para la estimación del NDVI es la calibración radiométrica de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR NOAA. Esto consiste en convertir un nivel digital de la imagen a un parámetro físico (radiancia o reflectancia) a partir de los coeficientes de calibración obtenidos mediante varios métodos de calibración (Telliet P.M., 1992; Mitchel R.M., 1999; Heidinger y Cao, 2002). Una vez obtenidas las imágenes de NDVI diarias se ha realizado el filtrado de las nubes usando el método de umbrales para lo que se emplean los canales 1 y 5, y a continuación se han corregido geográficamente todas las imágenes usando el método orbital (Calle A. y Casanova J.L., 2001).

Las imágenes NDVI del AVHRR NOAA son ampliamente utilizadas para el monitoreo de la vegetación debido a su alta resolución temporal y bajo costo. Los resultados obtenidos se muestran a través de las imágenes producto del NDVI de la costa norte del Perú en la pagina web del LABTEL (<http://www.unmsm.edu.pe/fisica/labtel/index.html>). Estas imágenes tienen una resolución espacial de 1 km y sus coordenadas geográficas son: -82° , -78° de longitud y -03° , -08° de latitud.

II. FUNDAMENTOS FÍSICOS

2.1 Calibración Radiométrica de los Canales 1 y 2 del Sensor AVHRR/2 del Satélite NOAA-14

En la calibración radiométrica de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR/2 del NOAA-14 se sigue el procedimiento de Mitchell (1999) y también está disponible en la página web del CCRS, [http://www.ccrs.emr.ca/gcnet\(guides/geocomp/geocomp.html\)](http://www.ccrs.emr.ca/gcnet(guides/geocomp/geocomp.html). La calibración radiométrica consiste en la recuperación de la radiancia que detecta el sensor AVHRR a partir de las cuentas digitales (o niveles de gris). 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 NOAA, no tienen una fuente de calibración a bordo del satélite. Existen varios métodos de calibración de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR que se han desarrollado después del lanzamiento (Teillet P.M., 1992; Justice et al. 1986 y Mitchell R.M., 1999).

2.1.1 La Radiancia por Banda

El sensor (AVHRR) responde a la radiancia entrante integrándola sobre toda la banda espectral del canal en cuestión. Esta radiancia por banda es definida como:

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

Es costumbre definir una radiancia espectral media sobre la base de la radiancia medida por banda que se expresa:

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

Donde, ω_i es el ancho efectivo de la banda

espectral definido como: $\omega_i = \int_0^{\infty} \phi_i(\lambda) d\lambda$

2.1.3 El Factor de Reflectancia

Para fines prácticos expresaremos la radiancia del instrumento como un factor de reflectancia. Este factor es definido como la relación entre radiancia medida por banda y la irradiancia solar extraterrestre, es decir:

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

Donde R_i es expresado en porcentaje y $\bar{F}_i(r)$ es la irradiancia solar extraterrestre integrada sobre la banda espectral del canal i . Es importante distinguir el factor reflectancia de otros productos tales como la Reflectancia direccional de la cima de la atmósfera, r_i , definida como:

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

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

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

Donde $\bar{F}_i(1UA)$ es la irradiancia extraterrestre por banda a una unidad astronómica (1UA), y r es la distancia Sol - Tierra en una UA, y está dado por:

$$r = 1.00014 - 0.01671 \cos g - 0.00014 \cos 2g$$

Donde g es la anomalía media en grados y vale:

$$g = (0.9856003 d_{1975} - 2.97394) \bmod 360$$

Donde d_{1975} es un número de días que han pasado desde el 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 Radiancia Espectral por Banda del Sensor AVHRR/2

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

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

Donde i es el canal 1 y 2; C_{0i} es la cuenta del espacio de fondo que corresponde a la respuesta del instrumento para una radiancia nula; $\bar{I}_i$ es la radiancia por banda en $W m^{-2} sr^{-1}$ y g_i es la responsividad de la radiancia por banda en unidades de (cuenta $\cdot W \cdot m^{-2} sr^{-1}$).

$^2 \cdot \text{sr}^{-1})^{-1}$. Dados C_{0i} y g_i , la radiancia inferida a partir de la respuesta C_i , cuentas, serán:

$$\bar{I}_i = (C_i - C_{0i}) g_i^{-1}$$

2.1.5 La Radiancia Espectral

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

$$I_i = (C_i - C_{0i}) \times h_i^{-1}$$

Donde i es el canal 1 ó 2; C_{0i} es la cuenta del espacio de fondo correspondiente a la respuesta del instrumento para una radiancia igual a cero; I_i es la radiancia espectral en ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$); h_i es la responsividad de la radiancia espectral en (cuenta $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$) $^{-1}$. Cabe recordar que los canales 1 y 2 del AVHRR están en los siguientes intervalos de longitud de onda del espectro electromagnético (tabla 1).

Tabla 1 – Intervalos de longitud de onda de los canales 1 y 2 del AVHRR/2

CANAL	$\lambda \mu\text{m}$	BANDA
1	0.580 - 0.680	VISIBLE
2	0.725 - 1.100	INFRARROJO PROXIMO

2.1.6 La Reflectancia

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

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

Donde S_i es llamado «slope» o pendiente y es expresado 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:

$$S_i(r) = S_i(1UA) \times r^2$$

Donde:

$S_i(1UA)$: «slope» o pendiente para una distancia Sol - Tierra de 1UA, (UA = unidad astronómica).

r : distancia Sol - Tierra, que viene dada por:

$$r = 1.00014 - 0.01671 \cos g - 0.00014 \cos 2g$$

$$g = (0.9856003 d_{1975} - 2.97394) \bmod 360$$

d_{1975} : es un 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, $d_{1975} = 1$.

En la dirección <http://www.dar.csiro.au/rs/CalWatch/node16.html>, se pueden encontrar todas las tabulaciones de $S_i(1UA)$. Existen dos formas de calcular este parámetro.

Para las imágenes antes del 31 de enero de 1999:

$$S_1(1UA) = 1.111 \times 10^{-1} + 8.548 \times 10^{-5} * T - 2.586 \times 10^{-7} * T^2 + 3.958 \times 10^{-10} * T^3 - 2.723 \times 10^{-13} * T^4 + 6.843 \times 10^{-17} * T^5$$

$$S_2(1UA) = 1.375 \times 10^{-1} + 1.486 \times 10^{-4} * T - 4.251 \times 10^{-7} * T^2 + 5.926 \times 10^{-10} * T^3 - 3.877 \times 10^{-13} * T^4 + 9.496 \times 10^{-17} * T^5$$

Para las imágenes a partir del 1 de febrero de 1999:

$$S_1(1UA) = 1.345 \times 10^{-1} + 7.264 \times 10^{-6} * T$$

$$S_2(1UA) = 1.624 \times 10^{-1} + 1.844 \times 10^{-6} * T$$

Donde T es el número de días desde el día 30 de diciembre de 1994 hasta el día de la toma de la imagen usada. La reflectancia se expresa generalmente en unidades de porcentaje (entre 0 y 100%). Para dar una idea de los valores de la reflectancia, el valor cero indica que la radiación solar ha sido absorbida completamente y está asociado 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 asociado generalmente a nubes, nieve, hielo, etc.

2.1.7 El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para las Imágenes AVHRR/2 del NOAA-14

Para la estimación del NDVI se han desarrollado diversas técnicas que estudian cualitativa y cuantitativamente el estado de la vegetación a partir de las medidas espectrales obtenidas por satélites (Richards J.A. y Jia, 1998). Los índices de vegetación son combinaciones de bandas espectrales, cuya

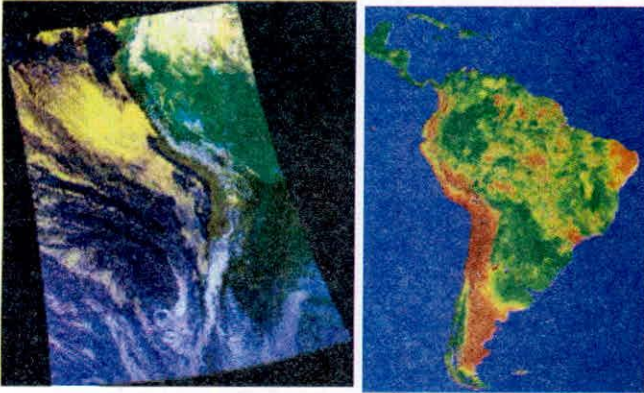


Figura 1 - (a) Composición de los canales 1, 2 y 5 del sensor AVHRR/3 del satélite NOAA-16 (26 de junio de 2002) y (b) NDVI de América del Sur del sensor VEGETATION SPOT-4 (1-10 enero 1999).

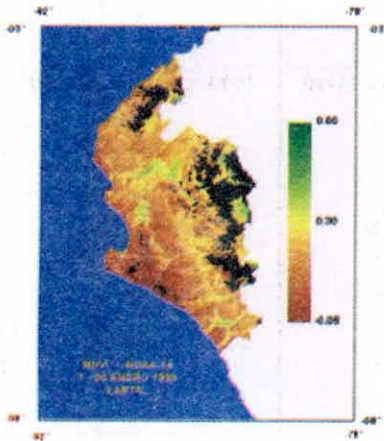


Figura 2 - Imagen compuesto NDVI del 1 al 20 de enero de 1999) del sensor AVHRR/2 del satélite NOAA-14.

III. DATOS IMÁGENES

Los datos imágenes originales HRPT y LAC/NOAA-14 se han obtenido de diversas fuentes. Las imágenes HRPT de sólo 12 días no consecutivos de enero de 1999 han sido facilitadas por IMARPE. Las imágenes LAC que comprenden el periodo del 1 al 31 de enero de 1999 y las imágenes originales LAC del NOAA-16 desde enero de 2001 hasta julio de 2002 han sido obtenidas de la SAA.

Las imágenes NDVI del sensor VEGETATION del satélite SPOT-4 se han conseguido en la pagina web "The Free VEGETATION Products" y comprenden las fechas de abril de 1998 hasta abril de 2002. Estas son imágenes compuesto de 10 días del NDVI de América del Sur. En total se ha trabajado con 157 imágenes.

Una imagen pancromática y tres multiespectrales level 1b del sensor HRV del satélite SPOT-4 se han obtenido de SPOT-IMAGE.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1(a) muestra una composición de los canales 1, 2 y 5 del AVHRR del NOAA-16 (26 de junio de 2002). Esta imagen está corregida geográficamente por el método de puntos de control y ha sido tratada con un software de procesamiento de imágenes NOAA desarrollado íntegramente en el LABTEL. La Figura 1(b) muestra una imagen compuesto del NDVI de 10 días (1 al 10 de enero de 1999) del sensor VEGETATION del satélite SPOT-4 correspondiente a América del Sur. La figura 2 presenta una imagen compuesto del NDVI del 1 al 20 de enero de 1999 del sensor AVHRR/2 NOAA-14. Esta imagen recoge tres departamentos de la costa norte de Perú: Tumbes, Piura y Lambayeque. En la figura 3 se observan 12 imágenes compuestos de 10 días del NDVI recogidas por el sensor VEGETATION durante el año 1999 y que pertenecen a la costa norte de Perú. Los meses de marzo, abril, mayo y junio presentan una vegetación más abundante en los valles conocidos y en la sierra (este). Estas imágenes abarcan las longitudes de 82 a 78°W y latitudes de 3 a 7°S. Las Figuras 4 (a) y (b) muestran unas series de tiempo del NDVI de dos píxeles seleccionados de las imágenes SPOT 4 y que corresponden al cultivo de caña de azúcar en el distrito de Cayaltí (6° 53' 8" S y 79° 62' 5") y en el distrito de Pucalá (6° 48' 45" S y 79° 37' 33" W). En la figura 4 (c) obtenida del NDVI de la caña de azúcar en Cayaltí y Pucalá se observa que al comienzo de la serie estudiada los valores de NDVI en ambos distritos son altos. Si se analizan los datos de precipitación total mensual de la misma zona (figura 4 (d)) se ve que en el primer trimestre del año

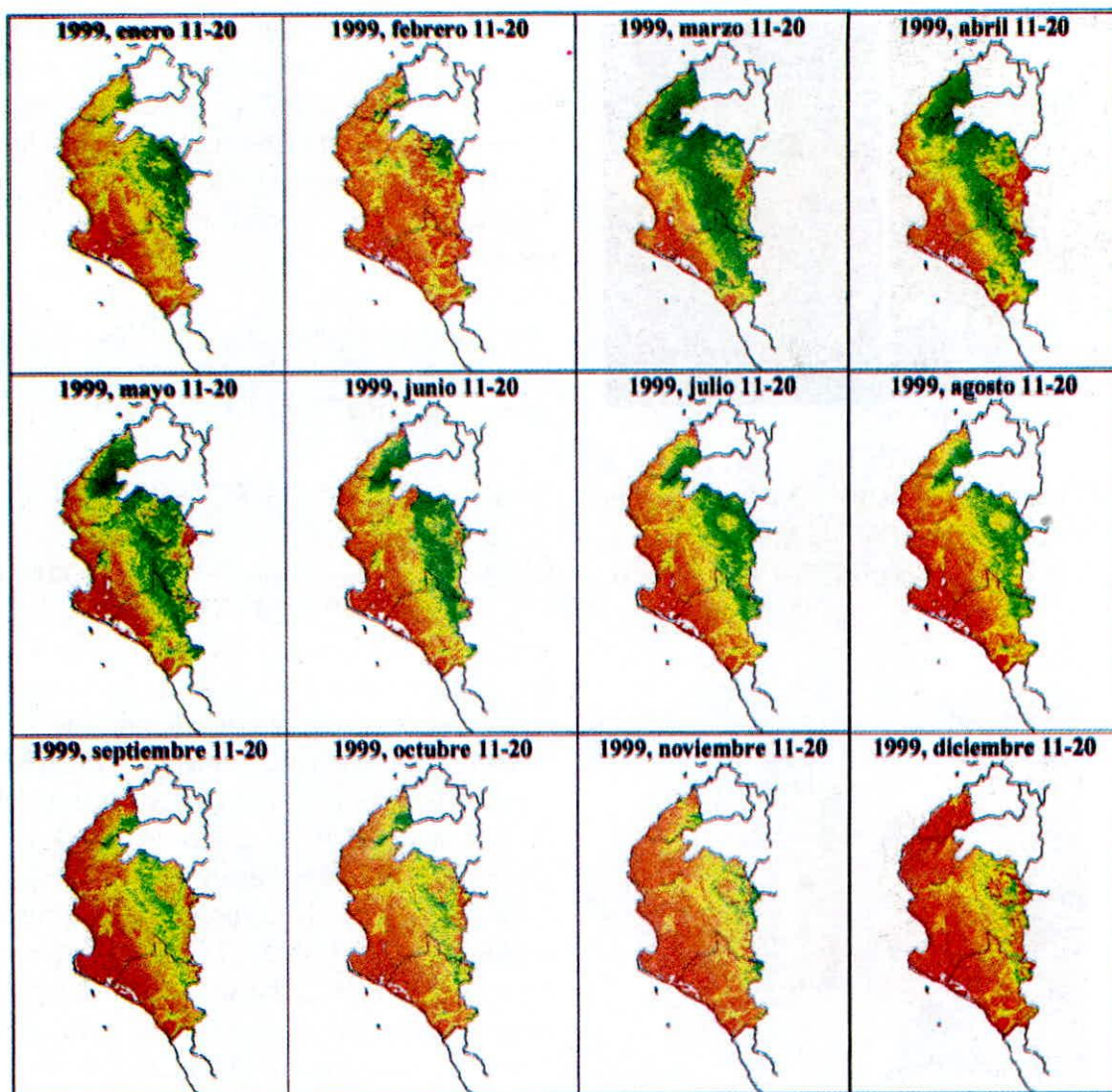


Figura 3 - La evolución anual del NDVI en la costa norte de Perú a partir del sensor VEGETATION del SPOT-4

1998 las lluvias fueron abundantes debido a que en esta época tuvo lugar el Fenómeno El Niño. Por esta razón la vegetación era vigorosa y su respuesta espectral origina valores elevados del NDVI. De los datos de precipitación que se dispone para los siguientes años, se deduce que los meses más lluviosos (marzo y abril) son también aquellos que mayores índices de vegetación presentan. Si se compara la evolución del NDVI de la caña de azúcar en los distritos estudiados, se ve que en los primeros meses del año 1998 (de abril a agosto), debido al gran aporte de agua de lluvia, el NDVI de Cayaltí y Pucallá tiene valores altos y además semejantes

debido a que se encontraban en iguales condiciones hídricas. Pero después de esos meses el NDVI de Cayaltí decrece y se mantiene por debajo del de Pucallá durante toda la serie. Esto es debido a que en el distrito de Cayaltí el cultivo de la caña de azúcar está más descuidado que en Pucallá y la vegetación es menos vigorosa, de ahí que los valores de NDVI sean menores, mientras que en Pucallá el riego de la caña de azúcar es continuado y por ello los cultivos presentan una cubierta más frondosa.

La corrección geométrica de las imágenes HRV del

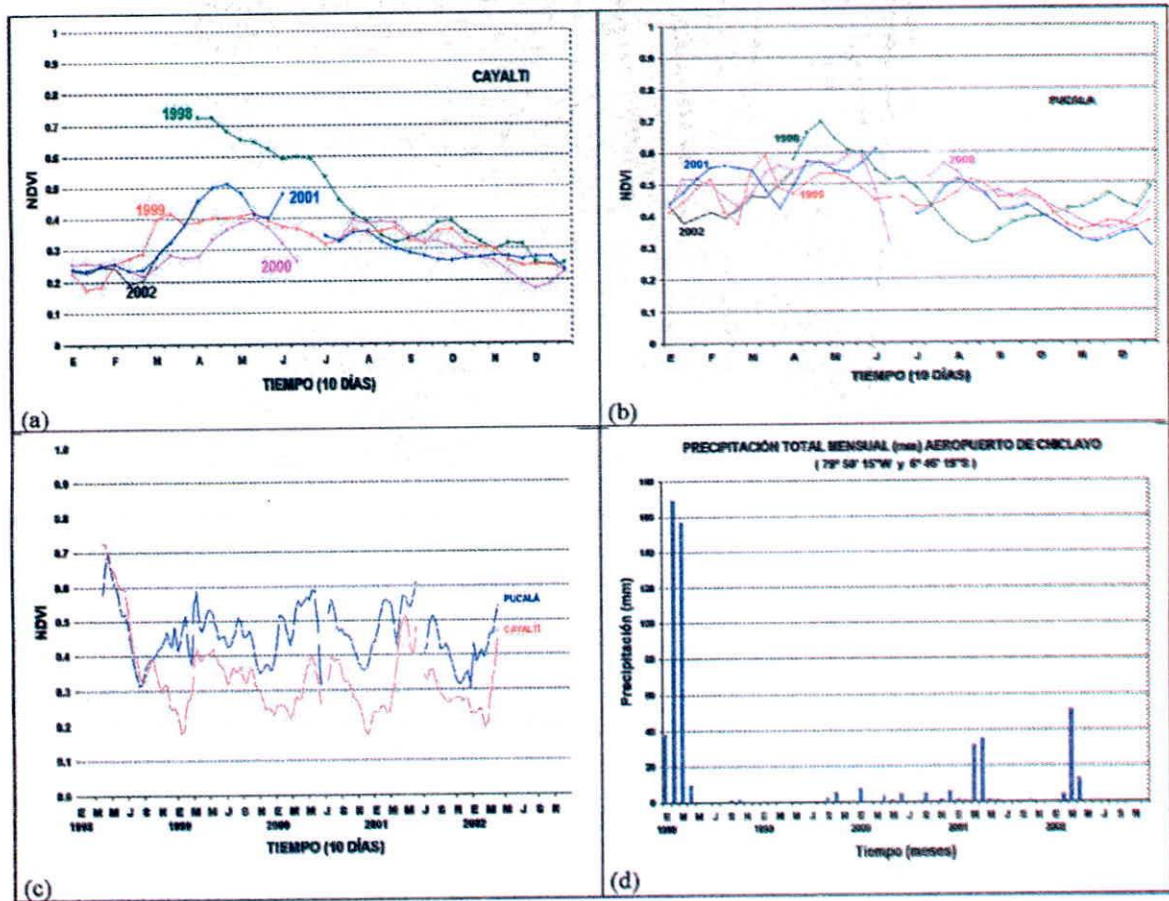


Figura 4 - (a) Evolución anual del NDVI para un píxel de caña de azúcar en la costa norte de Perú del distrito de Cayaltí. (b) Evolución anual del NDVI para un píxel de caña de azúcar en la costa norte de Perú distrito de Pucallá. (c) Serie temporal del NDVI para un píxel de caña de azúcar en la costa norte de Perú distrito de Cayaltí y Pucallá desde abril 1998 hasta abril 2002. (d) Precipitación total mensual (mm) en el Aeropuerto de Chiclayo.

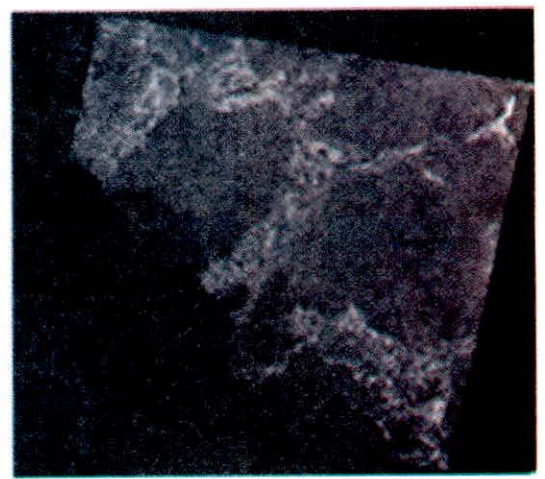
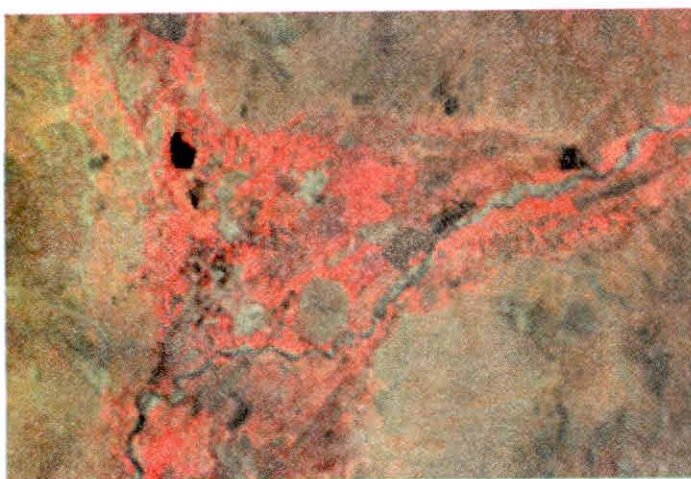


Figura 5 - (a) Composición en falso color de las bandas 1, 2 y 3 del sensor HRV del SPOT-4 (b) Imagen NDVI del SPOT-4 para la región del Valle de Zaña (18/10/1998).

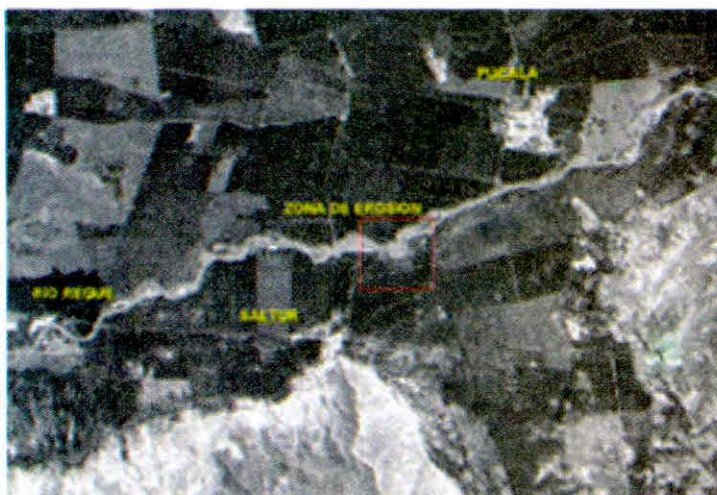


Figura 6 - Zona de erosión de un terreno cultivada con caña de azúcar cerca del río Reque cerca del distrito de Pucallá (04/04/2001).

SPOT-4 se ha realizado usando la técnica de puntos de control para lo que se han seleccionado 5 puntos correspondientes al centro y a las cuatro esquinas de las escenas, estos datos se encuentran disponibles en los archivos nombrados **lead_01.dat**. Además para mejorar la precisión se han tomado puntos de control in situ. La composición en falso color de las bandas 1(azul), 2 (verde) y 3 (rojo) del sensor HRV del satélite SPOT 4 se presenta en la figura 5(a). En esta imagen se diferencian las cubiertas: vegetación (rojo), desierto (pardo), nubes (blanco) y el agua (oscuro). En ella se distinguen parcelas cultivadas con caña, parcelas sin cultivar, el río Zaña, un embalse de agua, y las erosiones en el valle originadas por las inundaciones en épocas de lluvias. En la figura 5(b) se muestra el NDVI a partir de las imágenes del sensor HRV del SPOT-4. Las intensas lluvias ocasionadas por el Fenómeno El Niño, especialmente en los años 1982-1983 y 1997-1998, han causando grandes pérdidas económicas y materiales. Los desbordes del río Zaña y de río Reque han provocado erosión en las riberas y pérdidas de tierras cultivadas con caña de azúcar. La figura 6 corresponde a una imagen pancromática del satélite SPOT 4 con una resolución espacial de 10 m. Se puede observar claramente la erosión y el efecto de las precipitaciones sobre las tierras de cultivo de caña y sobre las vías de acceso (carreteras, puentes, etc).

V. CONCLUSIONES

Los datos imágenes originales AVHRR/2 del NOAA-14 presentan un NDVI de la costa norte de Perú muy similar al obtenido de las imágenes del sensor VEGETATION. Una corrección atmosférica de las imágenes NDVI de la NOAA-14 ha quedado pendiente lo cual sugiere unos mejores resultados. La variación anual del NDVI del VEGETATION muestra el comportamiento clásico donde el máximo se presenta en el verano y después de los meses de lluvias. La serie de tiempo del NDVI indica un comportamiento muy similar en los cultivos de caña de azúcar de los distritos de Pucallá y Cayaltí pero con un índice mas bajo de este último.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el financiamiento de este proyecto de investigación en el año 2001 y 2002. Un agradecimiento muy especial a SPOTIMAGE por los datos imágenes NDVI del sensor VEGETATION del SPOT-4, abril 1998 hasta abril 2002 y por las 5 imágenes multiespectrales adquiridas a través del programa LATINOSPOT. Un agradecimiento muy especial al Dr. Juan Tarazona

Barboza, coordinador nacional del proyecto multilateral OEA / CONCYTEC "Cooperación Regional para el Manejo del Efecto de los Eventos El Niño sobre la Biodiversidad y el Uso Sostenible de sus Recursos", por todo el apoyo brindado durante los años 1999, 2000 y 2001 al LABTEL.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anyamba, A;** Eastam, J.R. (1996): Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño/Southern Oscillation, *International Journal Remote Sensing*, London, England **17**(13): 2533-2548.
- Anyamba, A;** (1994): Retrieval of ENSO signal from vegetation index data, *The Earth Observer*, **6**: 24-26.
- Calle, A. y J.L. Casanova** (2001). Comunicación personal.
- Cihlar, J;** St Laurent, and Dyer, J. A (1991): The relation between normalized difference vegetation index and ecological variables. *Remote Sensing of Environment*, **35**: 279-298.
- Davenport, M. L. Nicholson, S. E.** (1993): On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*, London, England, **14**(12): 2369-2389.
- Iqbal, M.** (1983): *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press.
- Justice, C ;** Holben, B. N ; and Gwynne, M. D (1986): Monitoring East African vegetation using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, **7** : 1453-1474.
- Liu, W. T;** Massambani, O; and Festa, M. (1991): Normalized difference vegetation index for the south American continent used as a climatic variability indicator. *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Rio de Janeiro, Brazil (Ann Arbor, U.S.A.: ERIM), pp 725-732.
- Negron, R.I.** (2000): *Monitoramento de Variabilidade da Seca no Nordeste do Brasil Utilizando dados de NDVI e Indices do ENSO*. Tese do Maestrado, Universidade de Sao Paulo.
- Mitchel, R.M.** (1999) Calibration Status of the NOAA AVHRR Solar Reflectance Channels: CalWatch Revision 1, CSIRO Atmospheric Research Technical Paper N°. 42.
- Richards, J.A. y X. Jia** (1998): *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction Third Edition*, Springer.
- SPOT-IMAGE**, (1997) *The SPOT Scene Standard Digital Product Format S4-ST-73-01-SI Edition 1 - Revision 2* 97/11/17
- Tucker, C. J;** Gatlin, J.A; and Schneider, S.R; (1984): Monitoring vegetation of the Nilo delta with NOAA-6 and NOAA-7 AVHRR imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **50**: 53-61.
- Telliet, P.M.**, "An Algorithm for the Radiometric and Atmospheric Correlation of AVHRR Data in the Solar Reflective Channels", *Remote Sensing of the Environment* **41**: 185 – 195, 1992.

EDITADO EN LOS TALLERES GRÁFICOS DE..
TECNOLOGIA OFFSET E.I.R.L.

Tiraje: 250
Av. Bolivia 721 Breña
Telefax: 425-0799
Lima 05 - Perú