



# MODELO DE PREDICCIÓN DEL INICIO DE LA SEQUÍA EN EL PERU USANDO EL INDICE DE VEGETACION PROCEDENTE DE IMAGENES DE SATELITE E INDICES EL NIÑO OSCILACION SUR

## PARTE I

Joel Rojas Acuña<sup>a</sup>, José Carlos Eche Llenque<sup>a</sup>, Eleazar Rufasto Campos<sup>b</sup>, Robinson Negron Juárez<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria,  
Facultad de Ciencias Físicas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Apartado postal 14-0149, Av. Venezuela Av. Venezuela s/n. Ciudad Universitaria - Lima – Perú*

<sup>b</sup> *Laboratorio de Suelos, Departamento de Agronomía  
Facultad de Agronomía - Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque*

<sup>c</sup> *School of Earth and Atmospheric Sciences - Georgia Institute of Technology  
Ford ES&T Bldg., 311 Ferst Drive - Atlanta, GA 30332-0340*

---

### Resumen

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) obtenidos de las imágenes del sensor AVHRR de la serie de satélites NOAA y los índices El Niño Oscilación Sur (ENOS) serán usados para construir un modelo de predicción del comienzo de la sequía en la costa norte de Perú a través de una técnica de regresión múltiple lineal. Para desarrollar el modelo serán usados los datos mensuales de las anomalías de los índices ENOS y NDVI en el periodo de julio 1981 a diciembre 2003. El objetivo de este trabajo preliminar, primera parte, es una descripción de cómo y donde los datos son obtenidos y se calcula sus anomalías. Las series temporales de las anomalías de NDVI, en el periodo 1981-2003, fueron comparadas con las series temporales de los índices ENOS. Una inspección visual de las anomalías muestran una correlación en los años Niños 82-83 y 97-98. El NDVI de la región Loreto en la selva peruana no muestra un cambio significativo con relación a los índices ENOS.

**Palabras claves:** NDVI, NOAA, sequía, índices ENOS.

---

### Abstract

El Niño Southern Oscillation (ENSO) indices and satellite-recorded Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) will be used to construct a drought onset prediction model for North Coast of Peru through a multiple linear regression. Monthly NDVI and ENSO indices anomaly data for the period July 1981 to December 2003 were used to develop the model. The objective of the work, first part, is to do a description of how and where the data are obtained and it does calculate their anomalies. NDVI anomaly time series, in the period 1981-2003 were compared with El Niño Southern Oscillation (ENSO) indices. A visual inspection of the anomalies plot shows a correlation in the 82-83 and 97-98 Niños. NDVI of the Loreto region in the jungle of Peru doesn't show any change in relation to ENSO indices.

**Keywords:** NDVI, NOAA, drought, ENSO indices.

## 1. Introducción

La sequía es un fenómeno difícil de definir y por consiguiente de predecir debido a su gran complejidad. Por una parte tiene diversas facetas - climática, hidrológica, edáfica, etc.- que pueden no coexistir temporal o espacialmente. Por otro lado, su ocurrencia no depende solo del comportamiento de la naturaleza sino que en ella influyen de forma decisiva factores humanos y socio-económicos. Es la sociedad la que, con su organización y gestión de recursos, delimita su umbral de sensibilidad a la sequía. De modo genérico, la sequía puede definirse como un periodo de tiempo en el que se observa un déficit hídrico inusual, que altera sensiblemente el desarrollo normal de la vida colectiva de una región. Obviamente, este concepto varía dependiendo de las características climáticas y de las necesidades de cada región, por lo que es imposible establecer una definición precisa de carácter universal. La escasez de precipitación - sequía climática - provoca la carencia de recursos hídricos - sequía hidrológica - que ocasiona daños económicos graves en el sector agrícola, que pueden transmitirse a todo el conjunto de actividades socio-económicas. Desde este punto de vista resulta necesario implementar en el país un sistema de vigilancia de la sequía. El gobierno peruano a través del Instituto de Defensa Civil ha propiciado un proyecto nacional del Sistema de Vigilancia de la Sequía en todo el Perú [1]. En este proyecto se ha identificado indicadores de peligro e indicadores de impacto. Uno de estos indicadores de peligro, sugerido por la UNMSM, es el uso de los datos NDVI del sensor AVHRR sobre Perú en el periodo 1981-2003.

Los avances en el uso de los datos de satélite para vigilar las condiciones de la vegetación de la superficie de la Tierra hacen posible investigar la evolución espacial y temporal de la sequía desde el espacio en una escala deseable. Desde 1981 los datos colectados por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution) han sido utilizados para generar índices tales como el NDVI. Este índice ha sido aplicado exitosamente para clasificar los tipos de vegetación [2,3], y vigilar las condiciones de

crecimiento de la vegetación [4,5]. El NDVI ha sido usado para monitorear el estado fenológico del crecimiento de la vegetación a una escala regional [6], para vigilar la evolución de la sequía [7,8,9] y estimar la productividad de las cosechas [5]. Liu y Ferreira en 1991 [10] han reportado una buena correlación entre la precipitación total mensual y el NDVI mensual acumulado, Di y col en 1994 [11], a través de una simulación aproximada, encontraron una buena correlación entre la precipitación y el NDVI diarios. Por lo tanto el NDVI puede ser utilizado apropiadamente para inferir la sequía como un resultado de la escasez de lluvia. Los datos de lluvia colectados por estaciones de observación a menudo poseen una pobre resolución espacial, especialmente en regiones remotas de difícil acceso, por consiguiente el NDVI proporciona una valiosa fuente de información para vigilar la sequía.

Es conocido que los patrones de variabilidad en los trópicos están teleconectados a las anomalías del calentamiento del agua del Océano en el Pacífico Este y Central a los cambios en el sistema de circulación de la celda de Walker. El término "El Niño" fue usado originalmente por los pobladores de la costa norte peruana para describir el lento calentamiento anual de la corriente oceánica en el Océano Pacífico Tropical cerca al Ecuador y a lo largo de la costa de Perú y Ecuador. La componente atmosférica usada para investigar el evento El Niño es denominada Oscilación Sur. Los científicos han llamado "El Niño Oscilación Sur (ENOS)" al fenómeno que involucra ambas componentes, atmósfera y océano. El Niño es definido como la fase de calentamiento del ENOS y está caracterizado por el aumento de Temperatura de la Superficie del Mar (TSM). Mientras que "La Niña" es definida como la fase fría del ENOS y está caracterizado por un enfriamiento de la TSM [12].

El principal objetivo de este trabajo es construir un modelo de predicción del inicio de la sequía para la Región Costa Norte (Lambayeque, Piura y Tumbes) y la Región Loreto de Perú usando el NDVI - AVHRR mensual en el periodo julio 1981 hasta diciembre 2003, los datos TSM in situ de las regiones El Niño 1, 2, 3, y 4 y los

datos IOS similar al propuesto por Liu y Negron [13]. Sin embargo, en esta primera parte describiremos los datos usados y la metodología que se usara para conseguir los resultados que soporten un Sistema de Alerta Temprana de la Sequía en la Costa Norte de Perú.

## 2. Metodología

### 2.1 Datos de satélite

El conjunto de datos GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies [14]) son unas medidas global del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que cubren un periodo de 23 años (1981 - 2003) con una resolución espacial de 8km (ver Fig. 1). Los datos GIMMS fueron originalmente generados para caracterizar cambios biofísicos definidos en el proyecto ISLSCP (International Satellite Land Surface Climatology Project). El NDVI, en general es una medida del estado hídrico de la vegetación y es usado en modelos climáticos para calcular fotosíntesis, el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y la superficie del suelo, evapotranspiración y la absorción y emisión de la energía por la superficie del suelo. Estos datos proporcionan resultados mejorados basados en correcciones de calibración, geometría de observación, aerosoles volcánicos, y otros efectos que no están relacionados al cambio de la vegetación [15].

### 2.2 Anomalías NDVI

El NDVI ha sido calculado utilizando la banda 1 (0.58 – 0.68 μm) y la banda 2 (0.725 – 1.10 μm) del sensor AVHRR de la serie de satélites NOAA utilizando la siguiente ecuación:

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

donde  $\rho_1$  es el valor de la reflectancia de la banda 1,  $\rho_2$  es el valor de la reflectancia de la banda 2 y el NDVI se encuentra entre los valores  $-1$  y  $+1$ . Los datos NDVI usados en este estudio son valores promedios del área de estudio. Estos datos son usados para calcular los datos de la anomalía de NDVI. Wilks en 1995 [16] sugirió que, debido a la variación

estacional de los eventos climáticos el uso de datos de anomalía estandarizada en lugar de valores medios es más conveniente para investigar la diferencia NDVI anual de la normal. La anomalía estandarizada,  $z$ , es calculada con la siguiente ecuación,

$$z = \frac{x - x_p}{\sigma},$$

donde  $z$  es la anomalía estandarizada,  $x$  es el dato NDVI,  $x_p$  es la media muestral y  $\sigma$  es la desviación estándar.

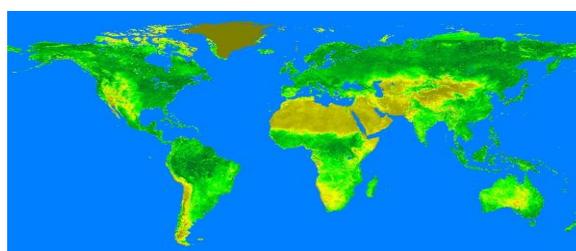


Figura 1. Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada global procedente del sensor AVHRR de la serie de satélite de órbita polar NOAA para los primeros 15 días del mes de agosto de 1981 [14]

### 2.3 Área de Estudio

El área de estudio comprende las regiones Tumbes-Piura-Lambayeque y Loreto. Se determinara las anomalías NDVI de esas dos regiones y se comparara con las anomalías TSM y IOS en el mismo periodo.



Figura 2. Mapa del Perú con las ubicaciones de las áreas en estudio

**2.4 Temperatura de superficie del mar y anomalías de índices ENOS**

El Índice de Oscilación Sur (IOS) es definido como la diferencia de presión del nivel del mar estandarizado entre Papeete, Tahití (149°W, 17°S) y Darwin, Australia (131°E, 12°S) [17, 18,19]. En la literatura, existen varias definiciones del índice El Niño basados en los datos TSM o Anomalías IOS, por ejemplo:

- correlacionada con los valores negativos de IOS ([20,21,22];
- correlacionada con la TSM [23] —El evento El Niño esta caracterizado por un aumento de la TSM mas alto que 2°C por un periodo de 12 meses que resulta en una anomalía de TSM en al menos 1°C por al menos tres meses;
- para la región El Niño3.4, Trenberth en 1997 [12] definió que el episodio ENSO ocurre mientras que el valor de la anomalía TSM es más alto que 0.4°C (El Niño) y también mientras que el valor de la anomalía es mas bajo que -0.4°C (La Niña).

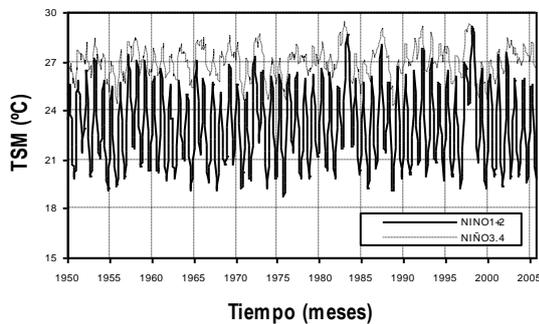


Figura 3. Temperatura de la Superficie del Mar en la región Niño 1,2 y 3,4.[21,22]

En este estudio, utilizamos datos TSM (ver Figura 3) de dos regiones - Niño 3,4 (5° N – 5° S y 120° W – 170° W) y Niño 1,2 (0-10° S y 90° W - 80° W) (ver Figura 4)

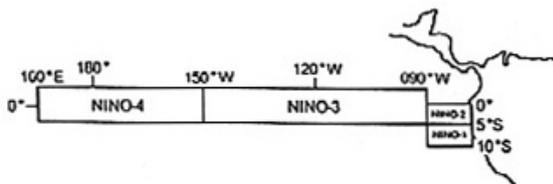


Figura 4. Localizaciones de las áreas Niño 1-4 [24]

¿Como se calculo el IOS?

Las anomalías IOS son desviaciones del periodo base considerado [25]. La desviación estándar para Tahití es dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{Tahiti} = \sqrt{\frac{\sum (x_{Tahiti} - \bar{x}_{Tahiti})^2}{N}}$$

Donde

N = numero de meses.

$x_{Tahiti}$  = valor actual de Tahití

$\bar{x}_{Tahiti}$  = valor promedio de Tahití

Así,

$$z_{Tahiti} = \frac{x_{Tahiti} - \bar{x}_{Tahiti}}{\sigma_{Tahiti}}$$

es el valor estandarizado de Tahití.

Similarmente, la desviación estándar para Darwin es dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{Darwin} = \sqrt{\frac{\sum (x_{Darwin} - \bar{x}_{Darwin})^2}{N}}$$

Donde

N = numero de meses.

$x_{Darwin}$  = valor actual de Darwin

$\bar{x}_{Darwin}$  = valor promedio de Darwin

Así,

$$z_{Darwin} = \frac{x_{Darwin} - \bar{x}_{Darwin}}{\sigma_{Darwin}}$$

Para calcular la desviación estándar mensual se usa la siguiente ecuación:

$$\sigma_{mensual} = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_{Tahiti} - \sigma_{Darwin})^2}{N}}$$

Finalmente, la ecuación IOS se vera como sigue:

$$IOS = \frac{\sigma_{Tahiti} - \sigma_{Darwin}}{\sigma_{mensual}}$$

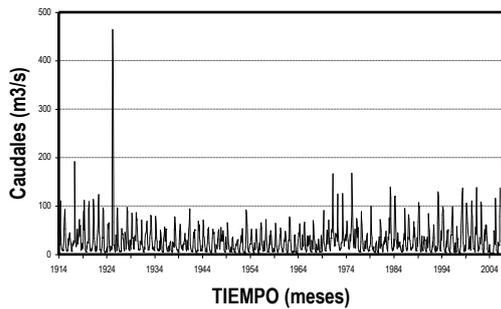


Figura 5 - Caudales medio mensual del río Chancay ubicado en la cuenca Chancay en el Departamento de Lambayeque (Fuente: Junta de Usuarios Chancay)

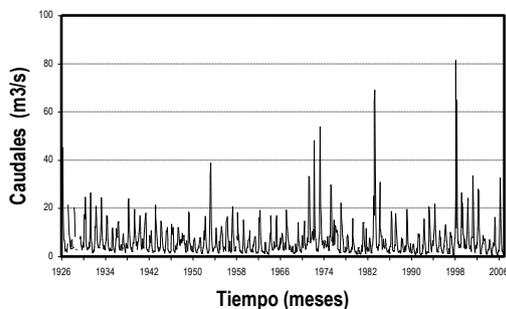


Figura 6. Caudales medio mensual del río Zaña ubicada en la cuenca Zaña del departamento de Lambayeque (Fuente: Ing. Carlos Urbina Estévez, Junta de Usuarios Zaña)

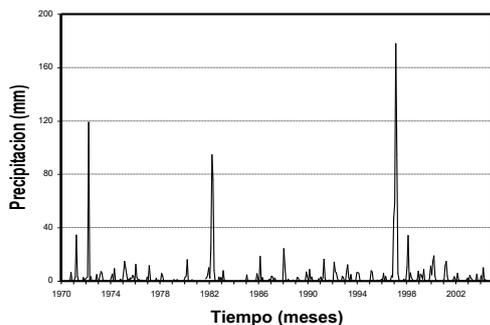


Figura 7. Precipitación mensual de la Estación Talla en la cuenca Jequetepeque con latitud  $7^{\circ} 15' 9.683''$  y con longitud  $79^{\circ} 25' 33.957''$  y con una altura de 112.8 msnm. (Fuente: Ing. Eleazar Rufasto Campos - UNPRG)

## 2.5 Datos de Caudales y Precipitación

Se ha recolectado datos in-situ climatológicos de los caudales de los ríos principales de Lambayeque, Chancay y Zaña, y la

precipitación de la estación Talla de la cuenca Jequetepeque de Trujillo, región vecina de Lambayeque. Ellos muestran máximos que están relacionados con el Fenómeno El Niño de varios años. (Ver las Figuras 5, 6 y 7).

## 3. Resultados Preliminares

### 3.1 Promedio y Desviación Estándar del NDVI de Perú.

En la Figura 8 se muestran las imágenes NDVI promedio (8a) y desviación estándar (8b) a nivel de todo Perú para la serie de tiempo que corresponde a julio 1981 – diciembre 2003 del sensor AVHRR de la serie de satélites NOAA con una resolución espacial de 8 km x 8 km. En la Figura 8a se observa que el NDVI varía de 0.0 a 0.7. En la región costa, el promedio es cerca de cero. En la región sierra, esta dividida en dos regiones, en el norte es mayor el NDVI (0.4-0.5) que en la parte sur (0.1-0.3). En la región selva el NDVI es mayor que en las regiones costa y sierra (0.5-0.7). En la imagen NDVI desviación estándar, Figura 8b, se muestra que en la costa su DE es muy pequeño, cerca de 0.0. En la sierra varía de norte a sur desde 0.05 a 0.2. En la selva la DE es mayor y varía desde 0.15 a 0.3. Ambas imágenes delimitan muy bien las tres regiones peruanas.

### 3.2 Evolución Dinámica del NDVI mensual sobre Perú.

Los datos NDVI mensuales del territorio peruano fueron producidos para el periodo julio 1981 a diciembre 2003. En la Figura 9 se muestra un ejemplo de imágenes NDVI de Perú para el periodo de un año (enero – diciembre 2002). La escala de colores debajo de la Figura 9 indica los valores del NDVI aumentando desde cero, color marrón en la izquierda hasta más altos que 0.7, color azul oscuro en la derecha. Las áreas grandes en marrón y amarillo, que corresponden a valores NDVI mas bajos que 0.3, aparecieron en febrero a julio, indicando que la estación seca esta concentrada en esos 6 meses.

### 3.3 Anomalías NDVI, IOS y SST

Los datos de anomalía mensual de los índices NDVI y ENOS de enero 1981 a diciembre 2003 serán usados para desarrollar un modelo de predicción de la sequía ENOS.

En la Figura 10 se muestra las anomalías TSM para las regiones Niño 1,2 y 3,4. Ellas varían entre -3 a 5 en el periodo 1950 – 2005. Su comportamiento es sinusoidal tomando máximos y mínimos en años ENOS. En los años 82-83 y 97-98 están los máximos más dominantes.

En la Figura 11 se muestra las anomalías IOS. Tiene máximos y mínimos que coinciden con años ENOS. En este caso los mínimos de los años intensos del Fenómeno El Niño. En los años 82-83 y 97-98 los mínimos llegan a valores próximos a -6.5.

Las Figuras 12 a 15 muestran los gráficos de la serie de tiempo de las anomalías NDVI de la costa norte y Loreto calculadas frente a las anomalías Niño3.4 y IOS respectivamente para el periodo julio 1981 a diciembre 2003. Según la comparación de la evolución dinámica del NDVI frente a Niño3.4 en la Figura 10, fue observado que, en general, los valores de la anomalía NDVI responden positivamente a los valores de la anomalía Niño3.4, especialmente durante los eventos El Niño de 1982/1983, 1986/1987, 1992/1993 y 1997/1998 y los eventos La Niña de 1984/1985, 1988/1989 y 1999/2000, donde picos opuestos relevantes fueron observados claramente.

Según la comparación de la evolución dinámica del NDVI frente a IOS en la Figura 11, fue observado que los valores de la anomalía NDVI responden negativamente a los valores de la anomalía IOS, especialmente durante los eventos El Niño de 1982/1983, 1986/1987, 1992/1993 y 1997/1998 y los eventos La Niña de 1984/1985, 1988/1989 y 1999/2000, donde los picos corresponden bien a los cambios del IOS. En las Figuras 14 y 15 no existe relación ya que el NDVI se mantiene sin ser influenciado por el Niño3.4 y IOS.

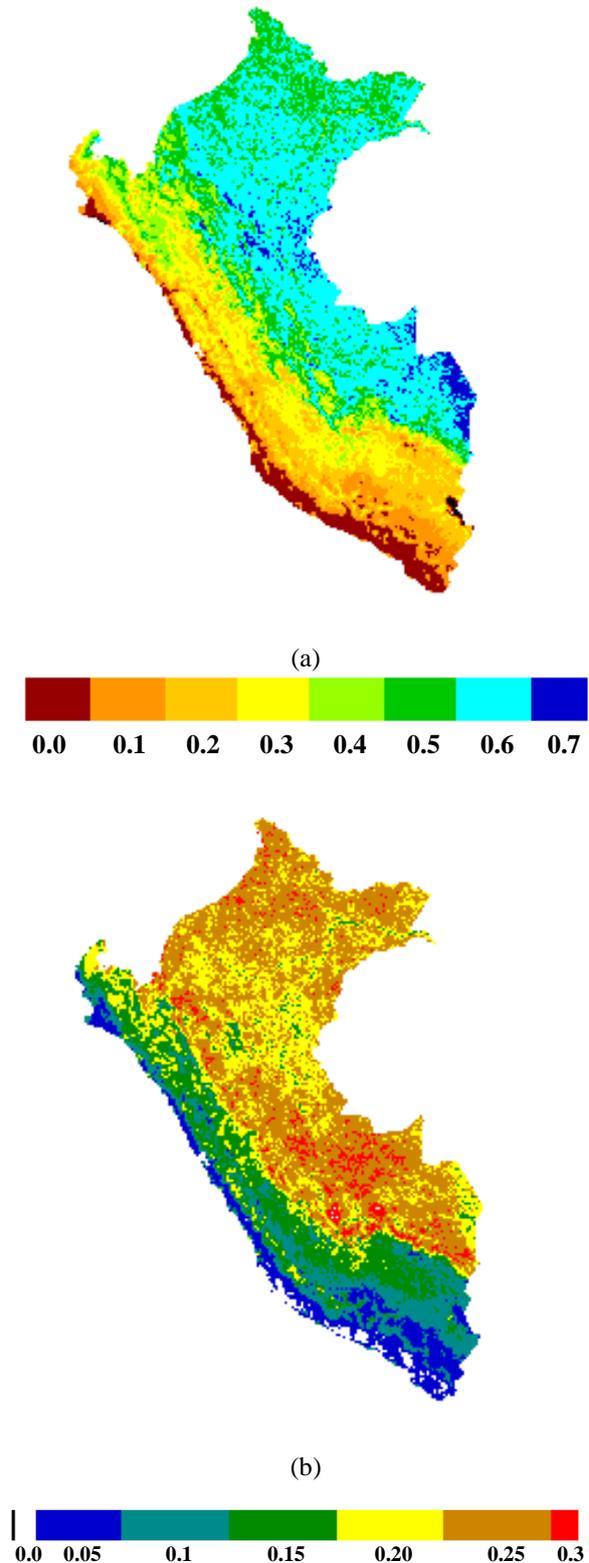


Figura 8. (a) Imagen producto promedio de la serie temporal de NDVI (periodo julio 1981 – diciembre 2003). (b) Imagen producto de la desviación Estándar de la serie temporal de NDVI (periodo julio 1981 – diciembre 2003).

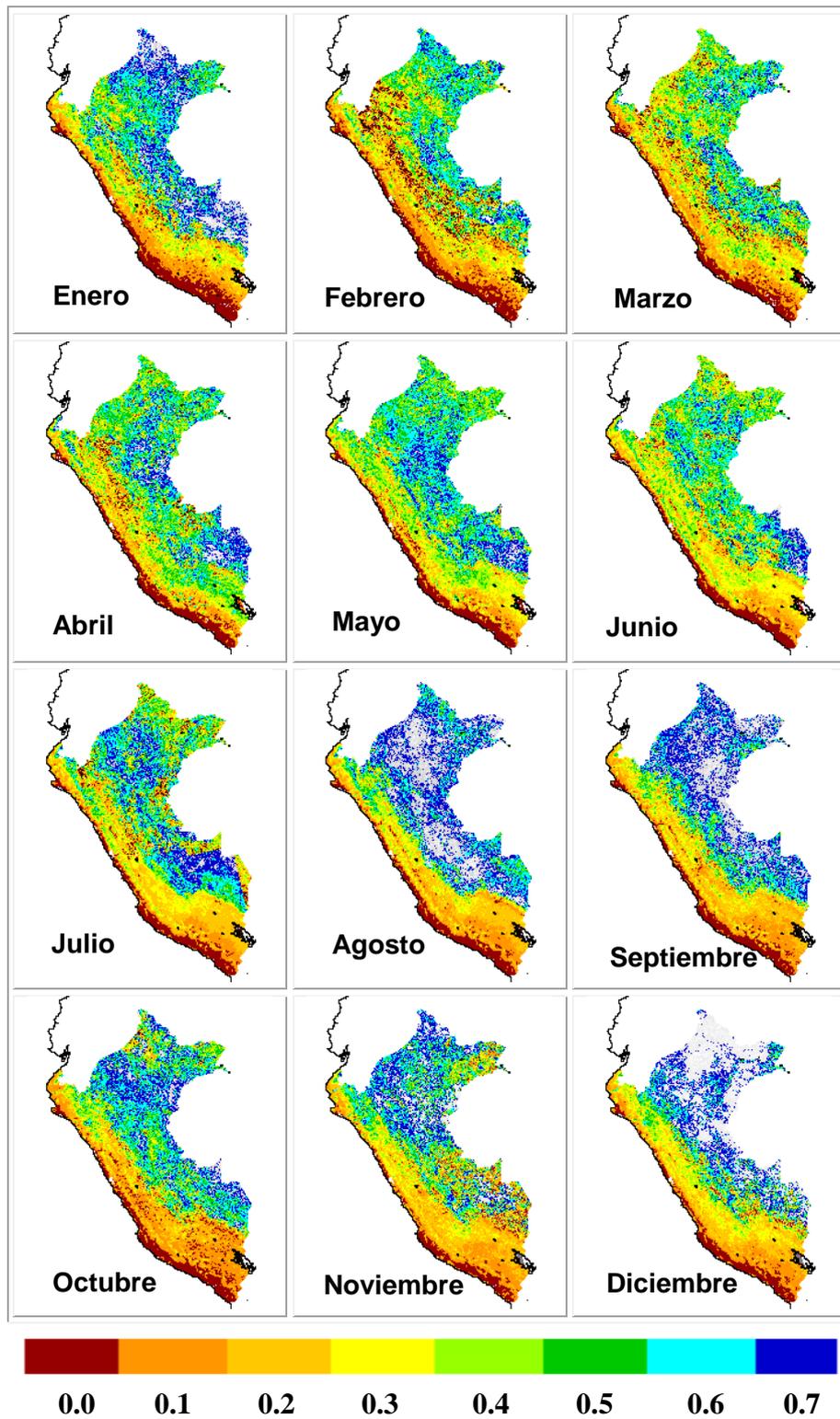


Figura 9. Evolución dinámica de NDVI del Perú para el periodo Enero – Diciembre 2000

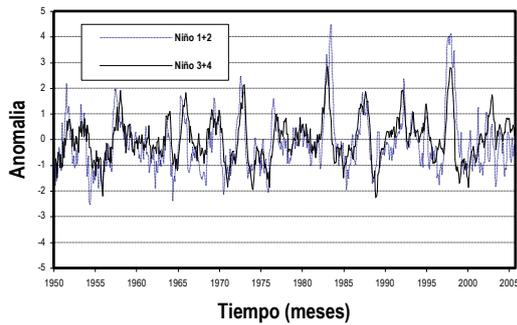


Figura 10. Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar para las regiones Niño 1,2 y 3,4. [21,22]

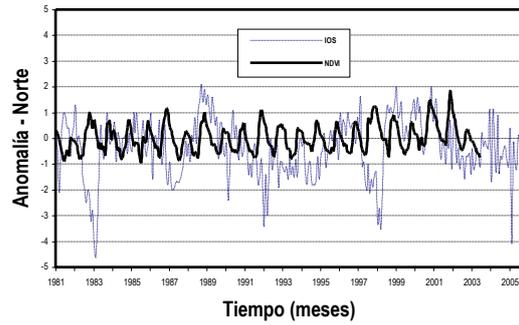


Figura 13. Comparación de la anomalía NDVI de la costa norte de Perú y la anomalía IOS (1981-2003)

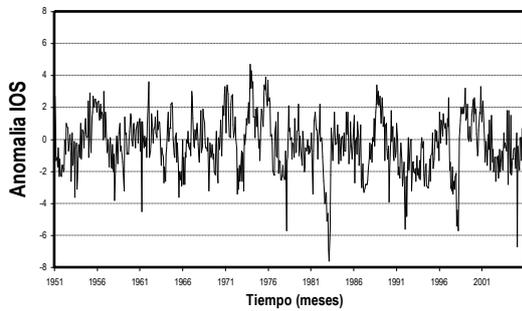


Figura 11. Anomalia del Índice de Oscilación Sur (IOS).[21,22]

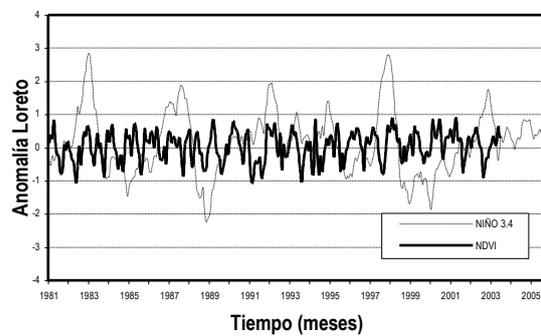


Figura 14. Comparación de la anomalía NDVI de la región Loreto de Perú y la anomalía de la TSM de la región Niño 3,4 (1981-2003)

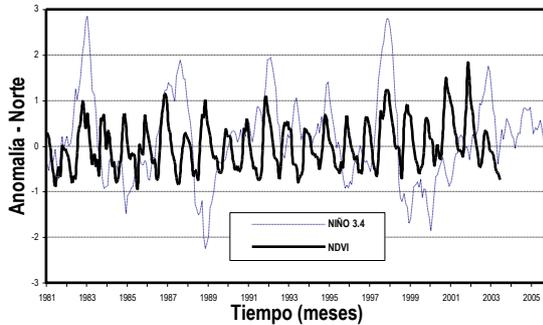


Figura 12. Comparación de la anomalía NDVI para la costa norte de Perú y la anomalía TSM de la región Niño 3,4 para el periodo julio 1981 a diciembre 2003

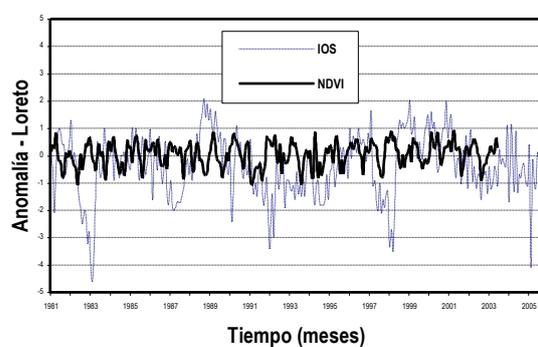


Figura 15. Comparación de la anomalía NDVI para la región Loreto de Perú y la anomalía SOI (1981-2003)

### 3.4 Caudales y Precipitación en la Costa Norte de Perú.

La tabla 1 muestra las magnitudes de los caudales medios mensuales de 7 ríos en la costa norte de Perú. El máximo caudal medio mensual se registro en Piura – PSC con 1650 m<sup>3</sup>/s en el año Niño 1998.

El Niño más antiguo se registro en el río Chancay con 460 m<sup>3</sup>/s en el año Niño 1925.

La tabla 2 muestra las amplitudes de los años de precipitación máximas en la estación de Jequetepeque. Esto confirma años El Niño en la costa norte de Perú.

#### 4. Investigación futura

En un próximo artículo se presentará el modelo de predicción del comienzo de la sequía usando los índices NDVI y ENOS. A partir de ellos se determinará los coeficientes de correlación y si es mayor que 0.3 se procederá con el uso de la técnica de regresión múltiple lineal para construir el modelo. El NDVI será la variable dependiente y las variables independientes serán la TSM (Niño 1-2 y 3-4) y IOS.

**Tabla 1** – Caudales medios mensuales de los ríos de Lambayeque y Piura

Ríos	Caudales medio mensual (m³/s)	Años Niños
Chira - PS	900 - 1600 - 1500	1972 - 1983 - 1998
Chira - EC	500 - 600 - 700 - 800 - 700	1982 - 1993 - 1998 1999 - 1901
Macara - PI	280 - 220 - 200 - 190	1983 - 1984 1993 - 1998
Quiroz - PG	114 - 115 - 150 - 130	1983 - 1984 1998 - 1999
Piura - PSC	400 - 1150 - 1650 - 600	1972 - 1983 1998 - 2001
La Leche	50 - 60 - 40 - 155 - 80	1972 - 1975 1983 - 1998 2001
Zaña	45 - 55 - 70 - 80	1925 - 1973 1983 - 1998
Chancay	460	1925

**Tabla 2** – Precipitaciones máximas de la estación Jequetepeque

Estación	Precipitaciones Máximas (mm)	Años Niños
Jequetepeque	120 - 90 - 180	1972 - 1982 - 1997

#### 5. Conclusiones

En la Figura 8a el NDVI promedio de todo Perú varía de 0.0 a 0.7. En la costa el promedio, es el NDVI es cerca de cero. En la sierra, esta dividida en dos regiones, la parte norte es mayor el NDVI (cerca de 0.4) que la parte sur (cerca de 0.1). En la selva peruana el NDVI es mayor que en las regiones costa y sierra (de 0.5 a 0.7).

En la imagen NDVI desviación estándar de todo el Perú se muestra en la Figura 8b y se observa que en la costa su DE es muy pequeño, cerca de

0.0. En la sierra varía de norte a sur desde 0.05 a 0.2. En la selva la DE es mayor y varía desde 0.15 a 0.3.

En la Figura 9 se muestra la evolución dinámica del NDVI en todo Perú. En estas imágenes NDVI se observa baja variabilidad durante todo el año en la costa. En la sierra, el NDVI del norte varía desde 0.4 a 0.5 y del sur varía desde 0.1 a 0.3 durante todo el año. Finalmente, el NDVI de la selva varía entre 0.5-0.7.

Las series temporales de las anomalías de NDVI de la costa norte y la región Loreto son comparadas con las series temporales de los índices ENSO (TSM y IOS). El NDVI de la costa norte de Perú presenta una relación directa o inversa con las anomalías TSM y IOS respectivamente.

#### Referencias

- [1] J. Rojas, M. Sullón y J. Salas (2005). Sistema de Vigilancia de la Sequía – Primer y Segundo Producto. Informe presentado a OXFAM – Internacional.
- [2] Tucker, C. J., Townshend, J. R., and Goff, T. R., (1985). African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227, 369–375.
- [3] Menenti, M., Azzali, S., Verhoef, W., and Van Swol, R., (1993). Mapping agroecological zones and time lag in vegetation growth by means of Fourier analysis of time series of NDVI images. *Advanced Space Research*, 13, 233–237.
- [4] Kogan, F., (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405–1419.
- [5] Prince, S. D., (1991). Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grassland 1981–1988. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1301–1312.
- [6] Justice, C. O., Townshend, J. R., Holben, B. N., and Tucker, C. J., (1985). Analysis of the phenology of global vegetation

- using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1271–1318.
- [7] Kogan, F., and Sullivan, J., (1993). Development of global droughts-watch system using NOAA/AVHRR data. *Advanced Space Research*, 13, 219–222.
- [8] Liu, W., Massambani, O., and Nobre, C., (1994). Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. *International Journal of Climatology*, 14, 343–354.
- [9] Liu, W., and Kogan, F., (1996). Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2761–2782.
- [10] Liu, W. T., and Ferreira, A., (1991). Monitoring crop production regions in the Sao Paulo State of Brazil using normalized difference vegetation index. *Proceeding of the 24<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Rio de Janeiro, 27–31 May, Vol. 2 (Chicago: ERIM), pp. 447–455.
- [11] Di, L., Rundquist, D. C., and Han, L., (1994). Modelling relationship between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 2121–2136.
- [12] Trenberth, K., (1997). The definition of El Niño. *Bulletin of American Meteorology Society*, 78, 2771–2777.
- [13] Liu W.T. y Negron R. I. (2001). ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI . *Int. J. Remote Sensing*, 2001, vol. 22, no. 17, 3483–3501
- [14] Tucker, C.J., J.E. Pinzon, and M.E. Brown (2004), Global Inventory Modeling and Mapping Studies, NA94apr15b.n11-VIg, 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, 04/15/1994.
- [15] Tucker, C. J., J. E. Pinzon, et al. (2005). "An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data." *International Journal of Remote Sensing* Vol. 26, No. 20, 20 October 2005, 4485–4498.
- [16] Wilks, D. S., (1995). *Statistical methods in the atmospheric Sciences*. International Geophysics Series, Vol. 59 (New York: Academic).
- [17] Anyamba, A., and Eastman, J., (1996). Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño/Southern Oscillation. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2533–2548.
- [18] NOAA: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.
- [19] GLCF: <http://glcf.umiacs.umd.edu>.
- [20] Walker, G. T., (1923). Correlation in seasonal variations of weather, VIII. A preliminary study of world weather. *Memo Indian Meteorology Department*, 24, 75–131.
- [21] Stoeckenius, T., (1981) Interannual variations of tropical precipitation patterns. *Monthly Weather Review*, 109, 1233–1247.
- [22] Rasmusson, E. J., and Wallace, J.M., (1983). Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*, 112, 1195–1202.
- [23] Cane, M., Zebiak, S., and Dolan, S., (1986). Experimental forecast of El Niño. *Nature*, 321, 827–832.
- [24] Cane, M.A., S.E. Zebiak, and S.C. Dolan, 1986: Experimental forecasts of El Niño. *Nature*, 321, 827–832.
- [25] [http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/Rea\\_dme.index.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/Rea_dme.index.shtml).