

## VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR PERUANO POR IMÁGENES AVHRR / NOAA

J. Rojas (\*), J. C. Eche (\*), J. L. Casanova (\*\*), A. Calle(\*\*) y A. Romo (\*\*)

[irojasa@unmsm.edu.pe](mailto:irojasa@unmsm.edu.pe)

(\*) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Apartado Postal 14-0149, Lima 14. Perú.

(\*\*) Universidad de Valladolid, Paseo del Prado de la Magdalena s/n. Valladolid. España.

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la estimación y el estudio de la variabilidad espacial y temporal de la temperatura de la superficie del mar Peruano a partir de las imágenes AVHRR. El área de estudio abarca de 70° W hasta 90° W de longitud y de 2° S hasta 22° S de latitud. Los datos imágenes de formato HRPT usados son de los días de enero de 1999. La temperatura de la superficie del mar está en grados Celsius y para obtener una imagen promedio se ha usado el método de la media aritmética. Este promedio mensual es de sólo 10 días del mes de enero de 1999. Los valores de la temperatura de la superficie del mar están en intervalos de 1°C desde 17°C hasta 33°C. La temperatura de la superficie del mar más cercana de la costa litoral Peruano es de menor magnitud que en la parte más alejada de la costa. Una promedio mensual basado en sólo 10 imágenes muestra en forma muy evidente la corriente de Humboldt en el mar del norte de Perú que se extiende desde 12°S hasta 0° paralelo a la costa Peruana.

### ABSTRACT

The purpose of this paper is the estimation and study of the spatial and temporal variability of the Peruvian sea surface temperature, SST, from NOAA-14 AVHRR/2 images. The studied area embraces from the Peruvian coast out to near 90° W longitude and 2° S to 22° S latitude. The SST is given in degrees Celsius and to derive a compound image the arithmetic mean technique was used. This monthly mean only corresponds to 10 days of January. The SST values are obtained over 2 km of spatial resolution and temperature intervals of 1°C, rising from 17 °C to 33 °C. The SST along the Peruvian coast is lower than far from the coast. A monthly mean mean value obtained only from 10 values shows very clearly the Humboldt stream rising parallel to the coast from 12°S to 0°.

Palabras claves: Teledetección, Temperatura de la superficie del mar, Temperatura de brillo, Corrección geográfica, AVHRR.

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se ha estimado la temperatura de la superficie del mar en el litoral Peruano a partir de las imágenes del sensor AVHRR/2 NOAA-14. La zona de estudio abarca de 70° a 90° W en longitud y de 2° a 22° S de latitud. Las aplicaciones futuras son la determinación de los frentes térmicos en el mar Peruano, y en el estudio del Fenómeno El Niño en el mar del norte Peruano.

Los datos imágenes originales con formato HRPT son de los días de enero 1999 (14:00 TL). Primero, se ha determinado la temperatura de brillo de las canales 4 y 5 usando los coeficientes de calibración actuales. Con las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 y la imagen cenit del satélite, para cada día, se ha obtenido una imagen producto de la temperatura de la superficie del mar diario haciendo uso de la ecuación lineal de la temperatura de la

superficie del mar denominada MCSST. Se ha realizado la corrección geográfica de las imágenes que contienen la temperatura de la superficie del mar a partir de un modelo orbital, sin el uso de puntos de control, para Perú y sólo usando como entrada los datos efemérides, Calle (2000). Para la eliminación de nubes se ha utilizado la técnica de umbrales sobre las imágenes de los canales 1 y 5. La determinación de una imagen promedio mensual usando los días no consecutivos es obtenida usando la media aritmética.

Los resultados obtenidos son las imágenes producto diario de la temperatura de la superficie del mar cuyo rango es desde 17°C hasta 33°C con un intervalo de muestreo de 1°C. Con una resolución espacial de 2 km y coordenadas geográficas límites de (90°W, 2°S) a (70°W, 22°S) que abarca el Perú y su litoral marino. Estos resultados son preliminares y falta una validación de la temperatura de la superficie del mar con los datos medidos in situ. Sin

embargo, existen antecedentes muy similares a nuestros resultados realizados por Glantz (2000), y Carr y Broad (2000). La corriente fría de Humboldt se muestra paralela a la costa Peruana desde Lima (12°S) hasta Ecuador que se encuentra rodeada de una región más caliente cerca al ecuador geográfico. El afloramiento costero en el mar de Paracas (14°S) se evidencia con las Temperaturas mas bajas de cerca a 17°C en verano y disminuye en invierno hasta 10°C.

## FUNDAMENTOS FÍSICOS

Los datos imágenes del infrarrojo térmico del sensor AVHRR/2 del NOAA-14 pueden ser convertidos a temperaturas de brillo por los procedimientos de calibración (Lauritson et al., 1979).

### Calibración de los datos imágenes de los canales infrarrojos

El radiómetro a bordo del satélite observa tres objetos (blancos): el espacio, la Tierra y un cuerpo negro interno a bordo del satélite. Usando estas temperaturas se calcula la radiancia del sensor AVHRR/2 para cada canal por las ecuaciones dadas en la próxima sección.

### Cálculo de la radiancia espectral

Para calcular las temperaturas de brillo para las bandas térmicas, las cuentas digitales originales tienen que ser convertidas en radiancia espectral del sensor,  $L_i$ , usando la siguiente fórmula

$$L_i(\ell, c) = A_i(\ell) * C_i(\ell, c) + B_i(\ell) \quad i = 4 \text{ y } 5 \quad (1)$$

Donde  $C_i(\ell, c)$  son las cuentas digitales para la banda  $i$  en coordenadas del píxel  $(\ell, c)$ ,  $A_i(\ell)$  es el valor de la pendiente para la banda  $i$  para la línea  $\ell$  ( $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{cm cuentas}^{-1}$ ),  $B_i(\ell)$  es el valor intercepto para la banda  $i$  para la línea  $\ell$  ( $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{cm}$ ),  $\ell$  es la fila y  $c$  la columna de la imagen. Las constantes  $A_i(\ell)$  y  $B_i(\ell)$  son obtenidos por los procedimientos de calibración durante el vuelo, basado en mediciones regulares del espacio profundo y el cuerpo negro interno del satélite, Lauritson et al., (1979).

### Conversión de radiancia a temperatura de brillo en los canales infrarrojos

La radiancia,  $L_i$ , puede ser convertida a temperatura,  $T_i$ , al usar la función de Planck sobre la función

respuesta espectral del canal  $i$ . En términos de intervalos discretos la función de respuesta espectral es:

$$L_i(T_i) = \sum_n B(v_{i,n}, T_i) * \left( \frac{\Phi(v_{i,n})}{\sum_n \Phi(v_{i,n})} \right) \quad (2)$$

Donde  $B(v_{i,n}, T_i)$  es la función de Planck para el cuerpo negro,  $v_{i,n}$  es el número de onda en el ancho de banda espectral del canal  $i$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $\Phi(v_{i,n})$  es la función respuesta espectral de la banda  $i$  en el número de onda  $v_{i,n}$ ,  $T_i$  es la temperatura de brillo de la banda  $i$ ,  $i = 3, 4 \text{ y } 5$  y  $n = 0$  a 59. La función de Planck es definida por

$$B(v_{i,n}, T_i) = C_1 * \frac{v_{i,n}^3}{\left[ \exp\left(C_2 * \frac{v_{i,n}}{T_i}\right) - 1 \right]} \quad (3)$$

y está en unidades  $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{cm}$ , y  $v_{i,n}$  es definida como

$$v_{i,n} = v_{i1} + n * \Delta v_i \quad (4)$$

Donde  $v_{i1}$  es el inicio del número de onda del canal  $i$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $\Delta v_i$  es el incremento del número de onda para el canal  $i$  ( $\text{cm}^{-1}$ ), el coeficiente  $C_1$  tiene las unidades  $\text{mW m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{cm}^4$  y el coeficiente  $C_2$  tiene las unidades  $\text{K-cm}$ . Los valores  $v_{i1}$  y  $\Delta v_i$  y la respuesta espectral,  $\Phi$  para 60 valores  $v_{i,n}$  son suministradas por la NOAA.

### La ecuación de la temperatura de la superficie del mar

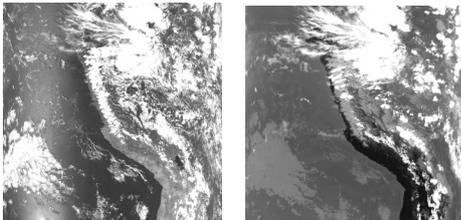
Los algoritmos de recuperación de la temperatura de la superficie del mar a partir del sensor AVHRR/2 están basados en el algoritmo de múltiples canales de la temperatura de la superficie del mar denominado MCSST, (Multichannel Sea Surface Temperature) propuesto por McClain et al. (1985), McMillin et al. (1984) y Smith et al. (1996). La temperatura de la superficie del mar estimada por satélite se determina por la siguiente ecuación:

$$T = \alpha_1 + \alpha_2 * T_4 + \alpha_3 (\sec \theta_s - 1)(T_4 - T_5) \quad (5)$$

Donde  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  son constantes determinadas a través de un ajuste por mínimos cuadrados a los datos *in situ*.  $T_4$  y  $T_5$ , son las temperaturas de brillo obtenidas de los canales 4 y 5 y  $\theta_s$  es el ángulo cenit del satélite.

## DATOS IMÁGENES

Los datos imágenes originales han sido obtenidos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y comprende el periodo del mes de enero de 1999. Son doce imágenes del sensor AVHRR/2 en formato HRPT NOAA-14. Estas imágenes corresponden a los días 5, 7, 8, 14, 15, 16, 18, 22, 23, 25, 26 y 27 de enero 1999 alrededor de la 14:00 hora local. La figura 1 muestran las imágenes del sensor AVHRR/2 NOAA-14 que corresponde al canal 1 y 5. En estas imágenes se visualizan por simple inspección una gran cantidad de nubes sobre suelo y mar peruano.



**Figura 1** – Imágenes visible e infrarrojo térmico del AVHRR NOAA/14 del 5 de enero 1999.

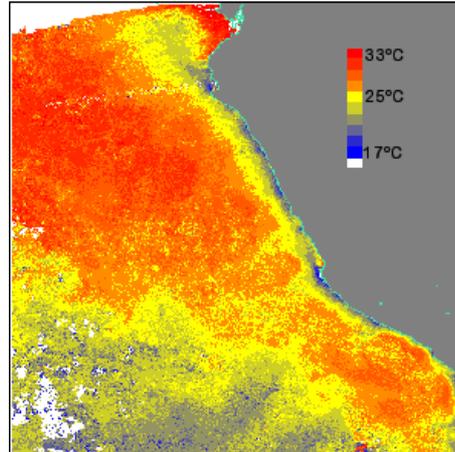
Datos de la temperatura del mar in situ han sido obtenidos del proyecto RIBEN en la bahía independencia y en la Isla Grande cerca de Ancon al sur y norte de Lima, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra la imagen de la temperatura de la superficie del mar promedio mensual usando sólo 10 de 12 días disponibles del mes de enero de 1999. Las temperaturas de la superficie del mar están en el intervalo de 17°C hasta 33°C. Se observa que la temperatura de la superficie del mar es de menor magnitud cerca de la costa y aumenta a medida que nos alejamos de la costa. Una inspección cualitativa de la figura 2 muestra una región fría muy grande (color amarillo) rodeada de una región mas caliente a pocos km de la costa (color rojo).

Cada 3 a 7 años cuando ocurre El Niño (mundial), la temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico ecuatorial occidental bajan en 1° C y en el oriental se eleva en 2 – 3° C, respectivamente. En el Niño 1997-1998, muy intenso, la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial del oriental (América del Sur) aumentó en 5° a 6° C. Creando una temperatura de la superficie del mar mas uniforme a lo largo del ecuador a través de todo

el ancho del Pacífico, aproximadamente una mitad de la circunferencia de la Tierra



**Figura 2** - Imagen promedio mensual de enero 1999 a partir del AVHRR NOAA-14.

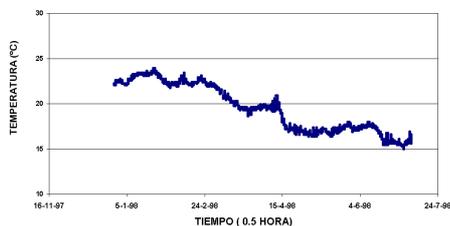
La figura 3 muestra la serie de tiempo de la temperatura del mar en la bahía de independencia (14° 20' 58'' S y 76° 10' 49.3'' W) Ica, Perú a 100m de profundidad, decreciendo desde diciembre de 1997 hasta julio de 1998. En cambio, la figura 4 muestra un aumento en la temperatura del mar cerca a la isla grande frente a Ancon (11° 46' S y 77° 15' W) desde octubre 2000 hasta un máximo en marzo 2002 y luego disminuyen.

## CONCLUSIONES

Las imágenes originales HRPT tienen muchas nubes impidiendo la estimación y el estudio de la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar Peruano. La corrección geográfica usando un modelo orbital sin puntos de control tiene un error de 1 píxel en la fila, desviándose hasta 2 km de su posición correcta. La recolección de los datos imágenes AVHRR / NOAA de la SAA es muy importante para la continuidad del trabajo actual y de otros en un futuro cercano.

La temperatura de la superficie del mar en el litoral Peruano es de menor magnitud que el más alejado de la costa. Valores de 17° a 33°C son obtenidos en una resolución espacial de 2 km en todo el litoral Peruano. Un estudio de la temperatura de la superficie del mar para imágenes, con resolución de 1 km, está en estudio y será muy importante para determinar los frentes pesqueros a través de los

frentes térmicos. La imagen promedio mensual (enero 1999) muestra la variación espacial de la temperatura de la superficie del mar desde la costa peruana hasta cerca de 90° W. La corriente de Humboldt se evidencia en el mar del norte ya que esta corriente fría penetra en una región más caliente cerca al ecuador geográfico.



**Figura 3** – Serie de tiempo de la temperatura del mar in situ en la Bahía de Independencia, Ica, Perú.



**Figura 4** – Serie de tiempo de la temperatura del mar in-situ Isla Grande cerca de Ancón, Lima, Perú.

#### BIBLIOGRAFIA

**Carr, M.E. and K. Broad, 2000.** Satellites, society, and the Peruvian fisheries during the 1997 – 1998 El Niño, chapter 9 in Satellites, Oceanography and Society, D. Halpern (ed), Elsevier Oceanography Series, pp. 149-170.

**Calle, A. (2000):** Comunicación personal.

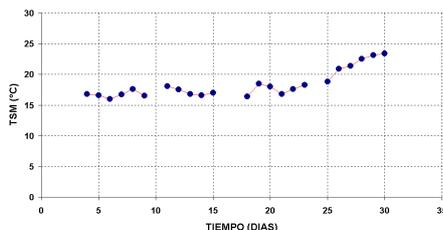
**Glantz, M.H. 2000.** Why care about El Niño and La Niña, chapter 8 in Satellites, Oceanography and Society, D. Halpern (ed), Elsevier Oceanography Series, pp. 149-170.

**Kidwell, K., NOAA Polar Orbiter User's Guide.** NCDC/NESDIS, National Climatic Data Center, Washington, DC. (1991).

**Lauritson, Levin, Nelson, Gary J., and Porto, Frank W. 1979.** Data extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers, NOAA Technical Memorandum NESD 107, November, 73 pp.

**McClain E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, 1985.** Journal Geophysics Research, 90, 11587-11601.

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR EN PAITA PERÚ  
LATITUD 05° 10' 14" S Y LONGITUD 80° 38' 18.6" W



**Figura 5** – Serie de tiempo de la temperatura del mar in-situ de Paita en el norte de Perú para el mes de enero 1999.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) por aprobar y financiar este proyecto conjunto entre la Universidad de Valladolid (España) y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, durante el año 2000. También deseamos agradecer al Instituto del Mar de Perú (IMARPE) por los datos imágenes HRPT del mes de enero 1999. Agradecemos también al Dr. Juan Tarazona, coordinador nacional por su apoyo a través del proyecto interdisciplinario y multilateral "Red de Impacto Biológico El Niño" (RIBEN) financiado por la OEA y CONCYTEC de Perú.