

LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR A PARTIR DE IMÁGENES DEL SENSOR AVHRR/2 DEL SATÉLITE DE ÓRBITA POLAR NOAA-14.

J. Rojas Acuña^a, J. L. Casanova Roque^b, A. Calle Montes^b, A. Romo Arranz^b,
O. Fashé Raymundo^a y C. Eche Llenque^a,

^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.

e-mail: jrojasa@unmsm.edu.pe.

^b Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Aplicada I, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid, España.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la estimación de la temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico Oriental del Hemisferio Sur a partir de las imágenes del satélite meteorológico de órbita polar NOAA-14 (National Oceanography Atmospheric Administration). El área de estudio abarca desde la costa Peruana, 70°W hasta 90°W de longitud geográfica y desde 2°S hasta 22°S de latitud geográfica. Ese parámetro se aplicará en la determinación de frentes térmicos o frentes pesqueros. Los datos imágenes originales de formato HRPT (High Resolution Picture Transmission) son de los días del mes de enero de 1999. Durante el tratamiento inicial de los datos imágenes, se ha convertido el formato original HRPT (16 bits) en otro formato BURL (Bradford University Research Limited) (10 bits) de nuestro interés. Se ha usado la técnica de umbrales sobre los canales 1 y 5 para la eliminación de nubes. El tamaño de las imágenes originales es de 2048 x 2048 píxeles.

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. Una paleta de colores se le aplica para diferenciar los valores de la temperatura de la superficie del mar que tiene una resolución espacial de 2 km y está en intervalos de 1°C desde 17°C hasta 33°C. La temperatura de la superficie del mar cerca del litoral peruano es de menor magnitud que en la parte más alejada. En estas imágenes producto se han observado muchas nubes sobre el mar y sobre tierra. Una promedio mensual basado en sólo 10 imágenes muestra en forma muy evidente la corriente El Niño en el norte del Perú. Está pendiente una validación de los datos estimados con los medidos in situ por algunas instituciones que hacen estudios usando el mismo parámetro.

Palabras claves: Teledetección, Temperatura de la superficie del mar, Temperatura de brillo, Corrección geográfica, AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).

THE SEA SURFACE TEMPERATURE AT THE EASTERN PACIFIC OCEAN IN THE SOUTHERN HEMISPHERE FROM THE IMAGES OF THE AVHRR/2 SENSOR OF THE NOAA-14 POLAR ORBIT SATELLITE

ABSTRACT

The purpose of this paper is to estimate the sea surface temperature of the Eastern Pacific Ocean in the Southern Hemisphere from the images of the meteorological satellite of polar orbit NOAA-14 (National Oceanography Atmospheric Administration), the studied area embraces from the Peruvian coast out, 70°W to near 90° W longitude and 2° S to 22° S latitude geographic. Then to be applied to the determination of fishing grounds. The original HRPT (High Resolution Picture Transmission) imagery data (12 image data) correspond to the month of January 1999 for non consecutive days. During the preprocessing of the images the original HRPT format (16 bit) is converted into another BURL (Bradford University Research Limited) format (10 bit) of our interest. For cloud elimination, the threshold technique was used with channels 1 and 5. The original size of the images is 2048 by 2048 pixels.

The sea surface temperature is given in degrees Celsius and in order to produce a compound image the arithmetic mean technique was used. This monthly compound corresponds to 10 days of January. The resulting product is twelve images with an applied color palette to differentiate sea surface temperature values with a spatial resolution of 2 km with temperature intervals of 1°C from 17 °C to 33 °C. The sea surface temperature along the Peruvian coast is lower than far from the coast. Many clouds have been observed in these images above the ocean and the continent. It is pending an evaluation of the estimated data with the ones measured in situ by some institutions that carry out studies using the same parameter.

Keywords: *Remote sensing, Sea surface temperature, brightness temperature, Geo-referencing, AVHRR.*

1. INTRODUCCIÓN

Se ha estimado la temperatura de la superficie del mar (tsm) en el Océano Pacífico Oriental del Hemisferio Sur. La zona de estudio abarca el área en longitud geográfica de 90 a 70°W y en latitud geográfica de 2 a 22°S. Para ello se ha utilizado las imágenes del sensor AVHRR/2 (Advanced Very High Resolution Radiometer) del satélite meteorológico de órbita polar NOAA-14. Las aplicaciones más frecuentes son la determinación de los frentes pesqueros en el mar, en el estudio del Fenómeno El Niño y en la Oscilación Sur El Niño (ENSO).

Los datos imágenes originales con formato HRPT (16 bit) son de 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). Primero, se ha determinado la temperatura de brillo de los canales 3, 4 y 5 usando los coeficientes de calibración actuales. Con las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 que se encuentran en el infrarrojo térmico y la imagen cenit del satélite, para cada día, se ha obtenido una imagen producto de la temperatura de la superficie del mar haciendo uso de la ecuación no lineal de la temperatura de la superficie del mar. Se ha realizado la georeferenciación o 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 (método geométrico), para el Perú y sólo usando como entrada los datos efemérides. 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 sólo 10 días no consecutivos es obtenida usando la media aritmética.

Los resultados obtenidos son las imágenes producto diarios 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 tsm con los datos medidos *in situ*. Sin embargo, existen antecedentes muy similares a nuestros resultados realizados por Glantz [1], y Carr y Broad [2].

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

Los datos imágenes del infrarrojo térmico del sensor AVHRR/2 (canales 3, 4 y 5) del NOAA-14 pueden ser convertidos a temperaturas por los procedimientos de calibración [3]. Las nuevas técnicas y fórmulas de calibración para el AVHRR del NOAA-14 son descritas a continuación.

2.1 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.

2.1.1 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

$$L_i(\ell, c) = A_i(\ell) * C_i(\ell, c) + B_i(\ell) \quad i = 3, 4 \text{ y } 5.$$

Donde $C_i(\ell, c)$ son las cuentas digitales para la banda i en coordenadas del píxel (ℓ, c) , $A_i(\ell)$ es el valor de la pendiente para la banda i para la línea ℓ ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}$. cuentas⁻¹), $B_i(\ell)$ es el valor intercepto para la banda i para la línea ℓ ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{cm}$), ℓ 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. El método para calcular los coeficientes de calibración del sensor AVHRR es descrito en Lauritson y colaboradores [3].

2.1.2 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:

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

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 (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 , $i = 3, 4$ y 5 y $n = 0$ a 59 . La función de Planck es definida por

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

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

$$v_{i,n} = v_{li} + n * \Delta v_i.$$

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

2.1.3 Corrección no lineal de la temperatura de brillo

La calibración de los canales térmicos es ligeramente no lineal y es bastante grande como para garantizar una corrección. La siguiente fórmula es usada para corregir la temperatura de brillo

$$T_i = T_{i \text{ lineal}} + \Delta T_i \quad i = 3, 4 \text{ y } 5.$$

Donde T_i es la temperatura de brillo verdadero en el canal i , $T_{i \text{ lineal}}$ es la temperatura de brillo en canal i como se obtuvo arriba y ΔT_i es el término de corrección para el canal i . Las temperaturas obtenidas por este procedimiento no están corregidas por la atenuación atmosférica. Los números de onda central (cm^{-1}) para los canales 3, 4, y 5 como una función de la temperatura para el satélite NOAA-14 se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de onda central para los canales Infrarrojos AVHRR de la NOAA-14

Rango de Temperatura (K)	Canal 3 (cm^{-1})	Canal 4 (cm^{-1})	Canal 5 (cm^{-1})
190-230	2638.652	928.2603	834.4496
230-270	2642.807	928.8284	834.8066
270-310	2645.899	929.3323	835.1647
290-330	2647.169	929.5878	835.3740

Nota: El intervalo (270 a 310) K es aplicable para la temperatura de la superficie del mar

2.2 La ecuación no lineal 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 sobre el algoritmo multicanal de la temperatura de la superficie del mar denominado MCSST, (Multichannel Sea Surface Temperature) propuesto por McClain y col. [4,5,6]. La tsm se puede escribir como

$$T = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot T_4 + \alpha_3 (\sec \theta_s - 1)(T_4 - T_5) + \gamma(T_4 - T_5).$$

Donde α_1 , α_2 y α_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, γ es un factor de peso basado en el conocimiento los coeficientes de absorción. En esta forma el modelo no lineal tiene corrección por la atenuación del vapor de agua y θ_s es el ángulo cenit del satélite.

El ruido de los canales infrarrojo no ha sido reducido por ningún filtro suavizador del término de corrección atmosférica. En la práctica uno de los principales problemas de los diferentes cálculos de tsm es el enmascaramiento de las nubes.

La combinación de los canales infrarrojo térmico, que es la base del algoritmo tsm, amplifica el ruido radiométrico. La diferencia ($T_4 - T_5$) representa la corrección atmosférica, principalmente debido al vapor de agua y que tiene una escala de variación espacial mucho más grande que la tsm. Esta diferencia ($T_4 - T_5$) puede ser suavizada suponiendo que sólo son considerados los píxeles libre de nubes de la ventana de suavizado. Esto significa que el suavizado ocurre después de que todas las pruebas de enmascarado de nubes han sido ejecutados.

2.3 Modelo orbital de la corrección geográfica sobre las imágenes del sensor AVHRR/2 del satélite NOAA-14

Se ha desarrollado un paquete *software*, en lenguaje C (llamado "GEOREF" para Windows 95), para la navegación de las imágenes del sensor AVHRR. Esto se ha realizado en el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV) aplicado a las imágenes del sensor AVHRR/2 sobre el Perú. El método está basado en un modelo del movimiento orbital con la exactitud de un píxel. Este programa trata en la determinación de la posición en la superficie de la Tierra observado por el sensor AVHRR/2, en cualquier instante de tiempo, que corresponde al caso directo de la navegación de la imagen. Este problema geométrico requiere que la posición, la velocidad y la orientación del satélite sean conocidas (con respecto a un sistema de coordenadas fijo a la Tierra) junto con el ángulo de barrido del sensor AVHRR/2 (con respecto a un sistema de coordenadas fijo al satélite). La navegación directa equivale a hacer un mapa de la posición de los centros de los píxeles sobre una cuadrícula muestreada. Esta aproximación, es generalmente implementado para datos que son "descartados" en una cuadrícula que tiene una resolución espacial más baja que los datos.

Para el caso indirecto, de la navegación de la imagen, corresponde en especificar un punto sobre la superficie de la Tierra y luego determinar en que instante de tiempo y ángulo de barrido del sensor AVHRR fue hecha la imagen para dicho punto. Según este tiempo se elabora una solución geométrica para determinar el píxel que corresponda a la latitud y longitud seleccionada. El dato imagen es muestreado para ajustarlo a una proyección de referencia geográfica preseleccionada. La navegación indirecta es

preferida, ya que cada punto de la imagen en la cuadrícula de muestreo será mapeado a un píxel; esto no es necesario cuando se usa la técnica directa.

La navegación indirecta es utilizada para crear imágenes georegistradas. Los algoritmos que describen ambos métodos son presentados en Rosborough y col [7], Brunel y Marsouin [8] y Marsouin y Brunel [9].

Una mirada a la geometría de la situación proporciona una visión total de la aproximación que será usado para ejecutar la navegación directa o indirecta. Sea la posición del satélite denotada por \vec{r} , en un sistema de coordenadas fijo a la Tierra y denote la posición de la superficie a ser imageada por \vec{R} en el mismo sistema (ver figura 1). Entonces una vector posición desde el satélite a la superficie será

$$\vec{d} = \vec{R} - \vec{r}$$

Este vector posición será referido como el "vector mirada", que puede ser imaginado como la línea de búsqueda del sensor AVHRR/2. La geometría es representada en la figura 1 para la configuración "posición del satélite en tiempo t". Para el caso de navegación indirecta, la posición del satélite (\vec{r}), tal que el vector mirada yace en el plano de barrido definido arriba, será una posición única. Una vez que sea determinada la posición, el vector mirada será conocido y el correspondiente píxel de la imagen del sensor AVHRR/2 será determinado.

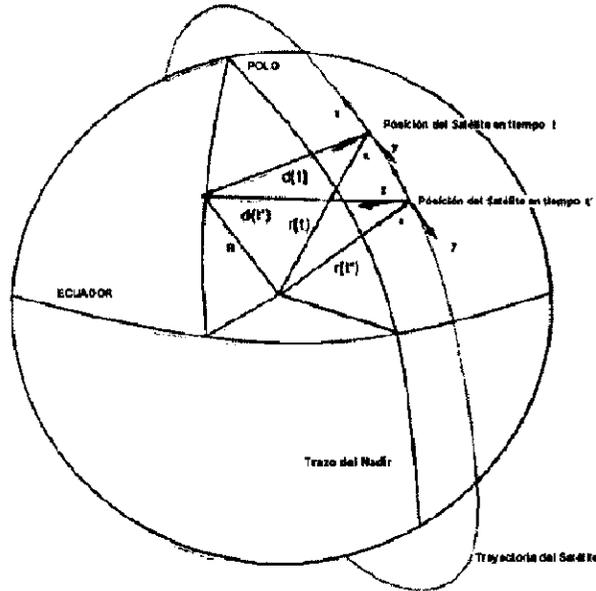


Figura 1. Geometría orbital y de barrido para una solución en tiempo t y tiempos intermedios t' para la navegación indirecta [10].

Para ejecutar la navegación directa, deben ser conocidos la posición del satélite (\vec{r}) y el ángulo de barrido, así la posición en la superficie podrá ser determinada. Rescribiendo la ecuación para el vector mirada da una solución aproximadamente directa para este problema,

$$\vec{R} = \vec{d} + \vec{r}$$

Ya que se da el ángulo de barrido del AVHRR, la dirección del vector mirada será conocido (pero no la magnitud) y a través de una iteración es posible solucionar la posición superficial a ser *imageada*. Para implementar esta aproximación geométrica a la navegación de la imagen, es necesario proporcionar modelos detallados para determinar la posición, velocidad y orientación del satélite con respecto a un sistema de coordenadas fijo a la Tierra. Los algoritmos de navegación requieren de la posición y velocidad (inercial) del satélite expresado en un sistema fijo a la Tierra.

Como la posición y velocidad del satélite son determinadas, estas dependen de la disponibilidad de la forma de la información de efemérides. Si una efemérides es disponible en tiempos cortos, puede ser posible interpolar para obtener la posición y velocidad en algún tiempo intermedio. Si los valores de las efemérides son ampliamente espaciados, entonces es necesario usar un modelo del movimiento orbital para determinar la posición y velocidad en algún tiempo arbitrario. Los detalles de este modelo son descritos en Rosborough y col [7], y en Brunel y Marsouin [10].

3. 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 [11] en formato HRPT del satélite de órbita polar NOAA-14. Estas imágenes corresponden a los días 5, 7, 8, 14, 15, 16, 18, 22, 23, 25, 26 y 27 de enero 1999 en alrededor de la 14:00 hora local.



Figura 2. Imágenes del canal 1 (visible) del sensor AVHRR/2 del satélite de órbita polar NOAA-14, del 16/01/99.

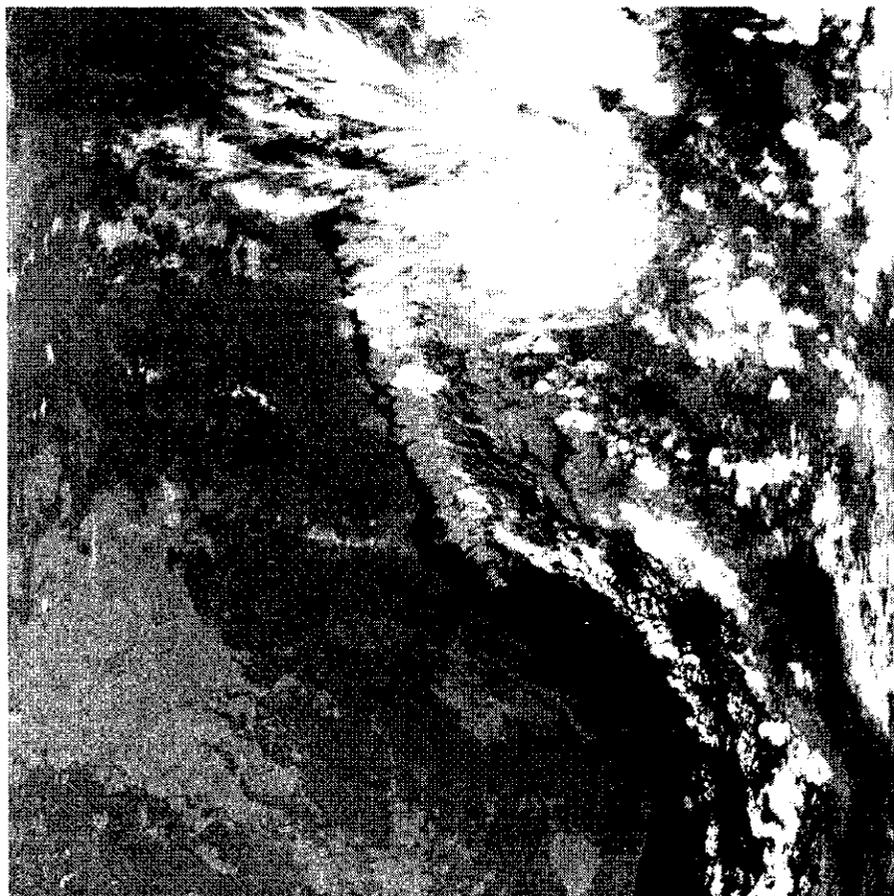


Figura 3. Imagen del canal 5 (infrarrojo térmico) del sensor AVHRR/2 del satélite de órbita polar NOAA-14, del 16/01/99.

Las figuras 2 y 3 muestran las imágenes del sensor AVHRR/2 del satélite estadounidense de órbita polar NOAA-14 que corresponde al canal 1 (visible) y 5 (infrarrojo térmico). Estas imágenes muestran una gran cantidad de nubes sobre suelo y mar peruano que se observa por simple inspección visual. El canal visible muestra la radiación solar reflejada en las superficies del mar, suelo y cimas de las nubes. El color blanco indica valores digitales altos (dentro del rango dinámico de 0 a 255 niveles de gris) cerca de 255 y el color negro, los valores más bajos, cerca de 0.

Generalmente, los valores digitales entre 8 a 40 indican el mar y mayores que ellos hasta cerca de 120 indican tierra o suelo. El reflejo del Sol en el canal visible es observado en la superficie del mar en el lado izquierdo del canal 1 (ver figura 1). En cambio, la imagen del canal infrarrojo térmico muestra que las superficies más oscuras son las de mayor temperatura que las superficies más claras. Nubes muy altas con un valor del nivel de gris cerca de 255 son muestras de superficies de bajas temperaturas. Esto quiere decir que el suelo, mar y cimas de las nubes emiten una radiación no visible al ojo humano que es la infrarroja.

4.3 Corrección geográfica de las imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA-14

El LATUV ha diseñado un programa en lenguaje C, llamado **GEOREF** para *Windows* 95, para realizar la corrección geográfica de las imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA-14 aplicadas al Perú sin el uso de puntos de control. La figura 5 muestra la entrada principal para ingresar los ficheros de entrada. En el menú "Fichero imagen" ingresa el fichero imagen de tipo float que tiene la tsm, ejemplo, sst_23e99.img. En el menú "Input TWO-LINE file" se ingresa el fichero de datos efemérides. En el menú "Milliseconds first line" se ingresa la imagen combinada en formato BURL con extensión 4h4. Al presionar el comando "Resampling", la figura 6 muestra una pantalla secundaria sobre la primaria donde se pide ingresar las coordenadas geográficas máximas y el tamaño espacial de la imagen a través del número de líneas y columnas.

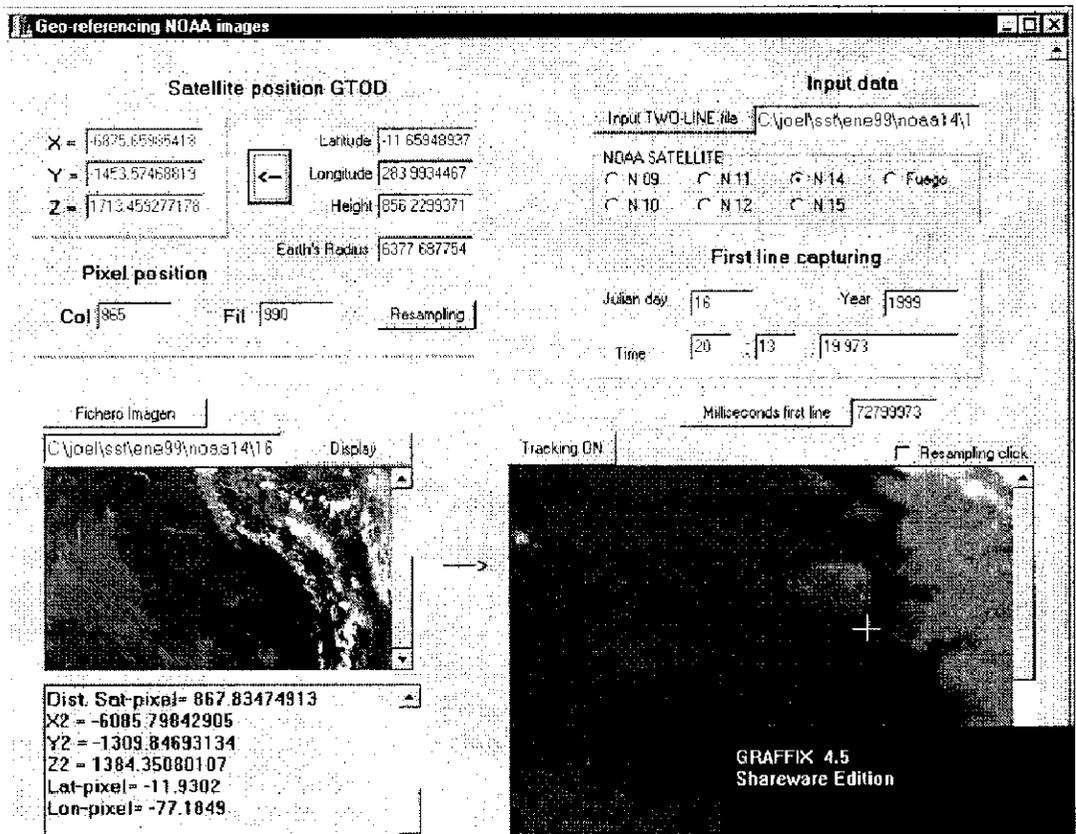


Figura 5. En esta pantalla se muestra los diferentes comandos para ingresar los datos de entrada. También se visualiza una imagen con algunos datos de efemérides y la posición del satélite durante la toma del dato en suelo

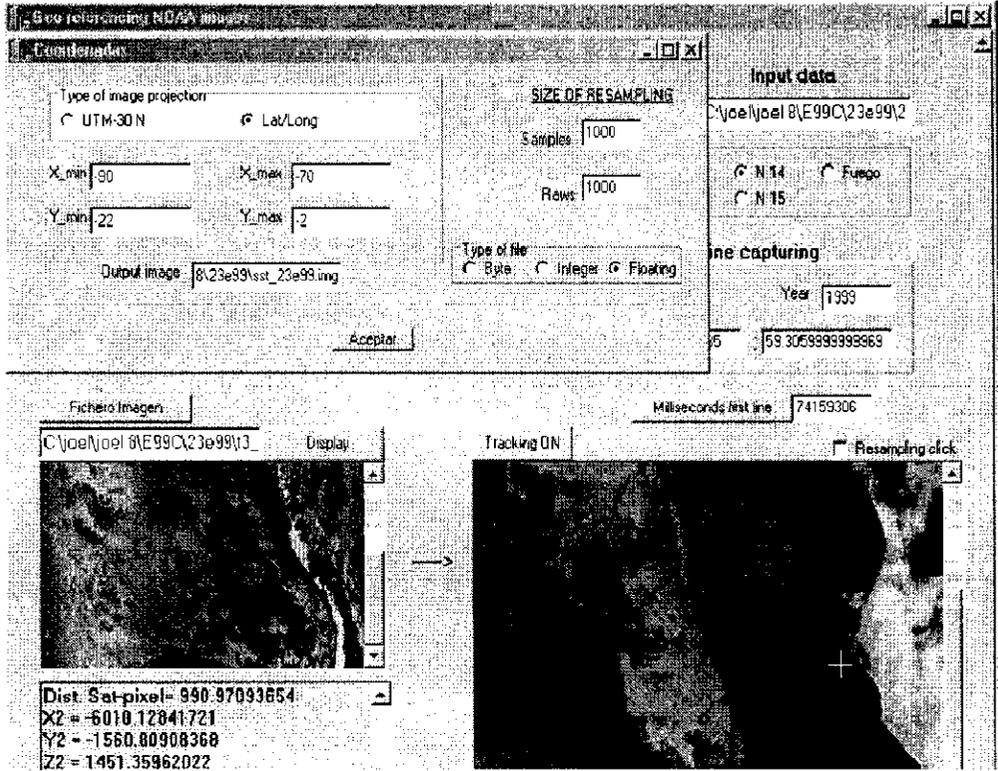


Figura 6. En esta pantalla se ha activado el menú “Resampling” usando el método de vecinos más cercanos para hacer el remuestreo de la imagen en la corrección geográfica.

4.4 Imagen producto promedio mensual

La figura 7 muestra la temperatura de brillo del canal 3 que se encuentra en el rango espectral del infrarrojo medio. La figura 8 muestra la imagen de la temperatura de la superficie del mar y del suelo usando la ecuación no lineal de la tsm, denotado por NLSST (Non Lineal Sea Surface Temperature). Esta imagen no está filtrada de nubes y está sin corrección geográfica. La figura 9 muestra la imagen de la temperatura de la superficie del mar mensual usando sólo 10 días del mes de enero de 1999. Se ha aplicado como paleta de colores para diferenciar las temperaturas que muestra, el mar en forma espacial. Esta imagen es la media aritmética de 10 imágenes del mes de enero 1999. Las temperaturas de la superficie del mar están en el intervalo de 17°C hasta 33°C. Los límites de la imagen son los siguientes: (90°W,2°S) la esquina superior izquierda; (70°W,2°S) la esquina superior derecha; (90°W,22°S) la esquina inferior izquierda y (70°W,22°S) la esquina inferior derecha. La tierra está en color negro y el mar está en una paleta de colores mostrado en la leyenda. Se observa que la temperatura de la superficie del mar es menor cerca de la costa y aumenta a medida que nos alejamos de la costa



Figura 7. Imagen de la temperatura de brillo del canal 3, infrarrojo medio (16/01/1999).



Figura 8. Imagen de la temperatura de la superficie del mar (16/01/1999).

IMAGEN COMPUESTO MENSUAL DE ENERO DE 1999 DEL NOAA-14

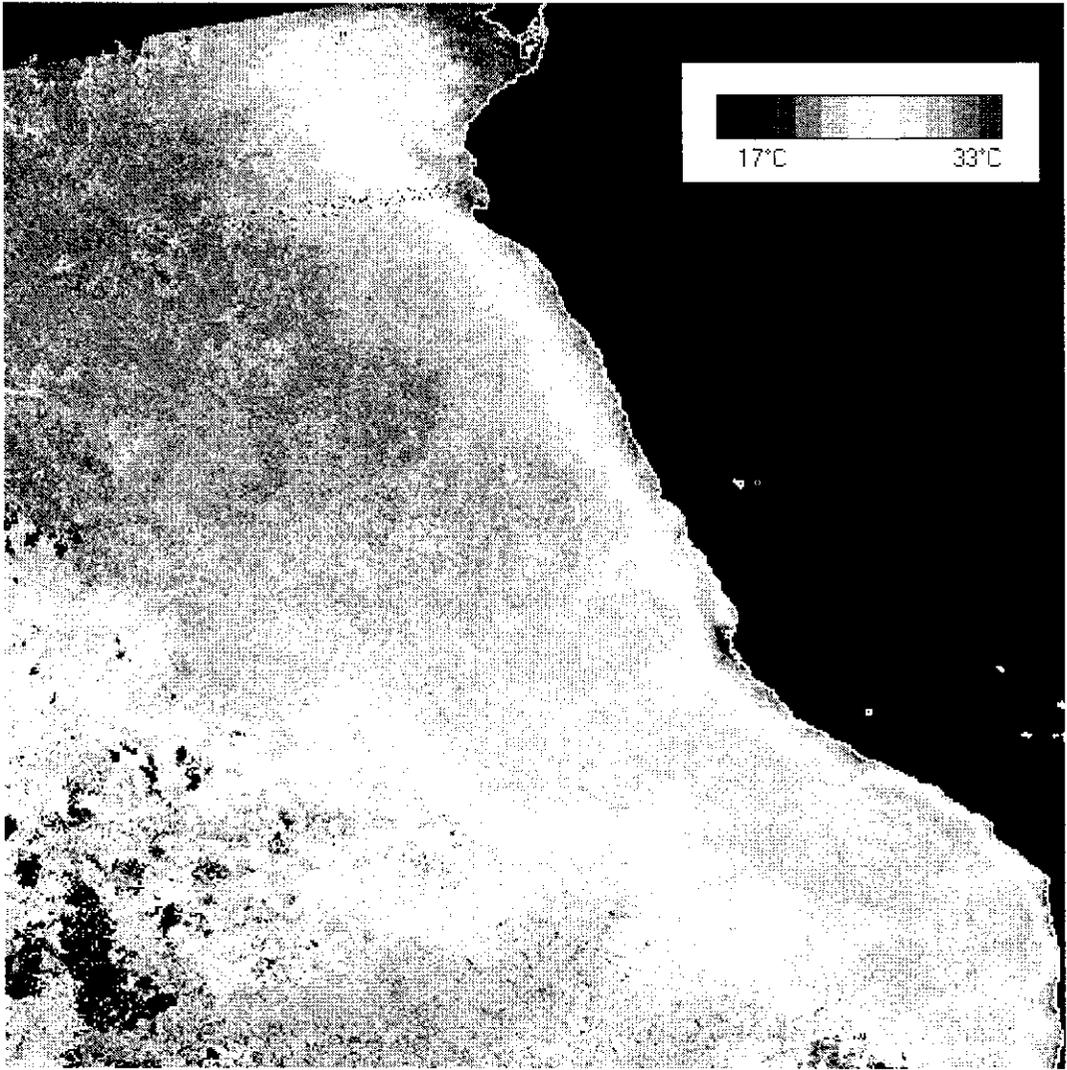


Figura 9. Imagen promedio mensual de la temperatura superficial del mar del sensor AVHRR/2 del satélite de órbita polar NOAA-14.

Según Glantz [1], en la zona ecuatorial del Océano Pacífico la temperatura de la superficie del mar es, típicamente, de 20°C en el oeste y 23°C en el este, como es ilustrado en la figura 10 (panel superior) para enero 1997, tres meses antes del inicio de El Niño 97. La diferencia de temperatura superficial del mar este – oeste de 6 a 7 °C no es producida directamente por el Sol; la diferencia de temperatura representa un balance entre los vientos que soplan hacia el oeste cerca de la superficie del mar, la densidad (o temperatura) y la corriente en 300 metros arriba de la superficie.

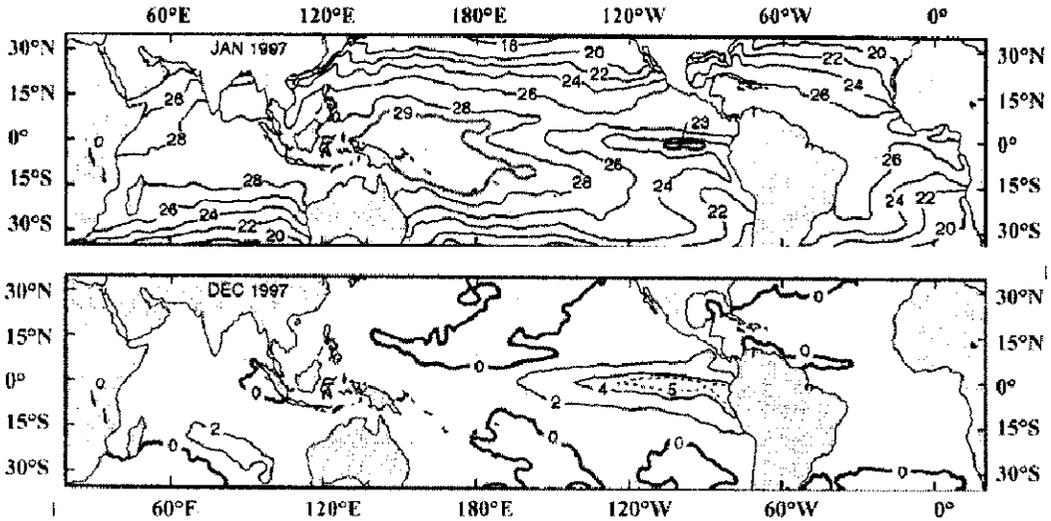


Figura 10. La temperatura superficial del mar en la zona ecuatorial del Océano Pacífico para el mes de enero del año 1997 (panel superior) y para diciembre de 1997 (panel inferior) según Glantz [1].

Cada 3 a 7 años cuando ocurre El Niño, la temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico ecuatorial oeste bajan a 1°C y en el este se eleva a $2 - 3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Durante El Niño 1997-1998, la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial del este aumentó hasta 5 a 6°C . Creando una temperatura de la superficie del mar mas uniforme a lo largo del ecuador a través del ancho del Pacífico, aproximadamente una mitad de la circunferencia de la Tierra.

En el máximo del Fenómeno El Niño, 1997-1998, en diciembre de 1997, la anomalía de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial oriental, como se ilustra en el panel inferior de la figura 10, alcanzo los 5°C sobre un ancho de aproximadamente la distancia entre *New York* y *Seattle*.

La evolución de las condiciones oceanográficas fuera de Perú durante el periodo 1996-1998, incluyendo El Niño 1997-1998 fue estudiada por Carr y Broad [2] con datos *in situ* y con datos de satélite del sensor AVHRR. Las anomalías máximas de la temperatura de la superficie del mar, mayor que 4°C , ocurrieron cerca del Callao en 12°S en Jun-Jul 1997 y Dic 1997-Ene 1998, indicando que las condiciones oceanográficas no resulta de la finalización de las surgencias costeras.

Uno de los objetivos posterior de este trabajo es producir campos de tsm con una resolución de 10 km sobre todo el Pacífico Sur y campos de tsm de 1 y 2 km sobre el mar Peruano (200 millas). Los campos de tsm sobre el Pacífico del Sur serán hechos a través de un uso combinado de datos geoestacionario y de órbita polar. Sobre bajas latitudes (0 a 50°S), puede ser realizado con el GOES-8 cada 3 horas. Sobre el mar peruano los campos de tsm serán producidos (en el Laboratorio de Teledetección, LABTEL, UNMSM) cada 4 veces en un día de datos NOAA/AVHRR. Finalmente, ningún aerosol ha sido considerado. El rol de los aerosoles tiene que ser analizado en detalle.

Las aguas costeras del Perú (entre 3°S y 18°S) están caracterizadas por grandes biomásas de fitoplancton que por la cadena alimenticia generan una pesca muy productiva. La elevada productividad biológica resulta de las surgencias costeras que trae alta concentración de nutrientes a la superficie. La figura 11, imagen superior, muestra la temperatura de la superficie del mar para un mes normal de diciembre de 1996 y la figura 11, inferior, muestra la temperatura de la superficie del mar para un mes El Niño diciembre de 1997 según Carr y Broad [2].

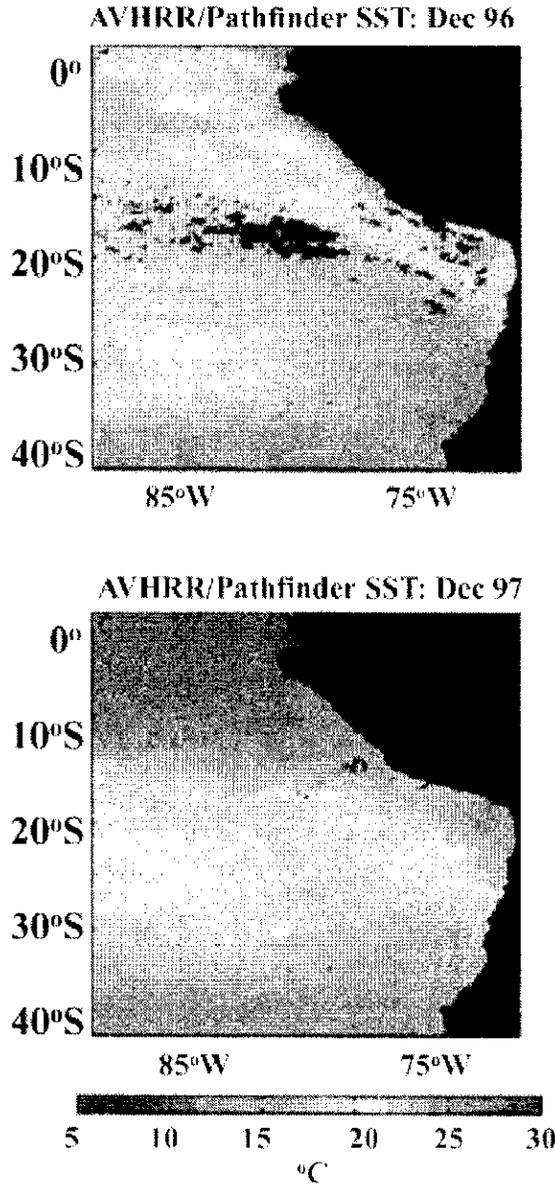


Figura 11. Temperatura superficial del mar para diciembre de 1996 (mes normal) y 1997 (mes El Niño) según Carr y Broad [2].

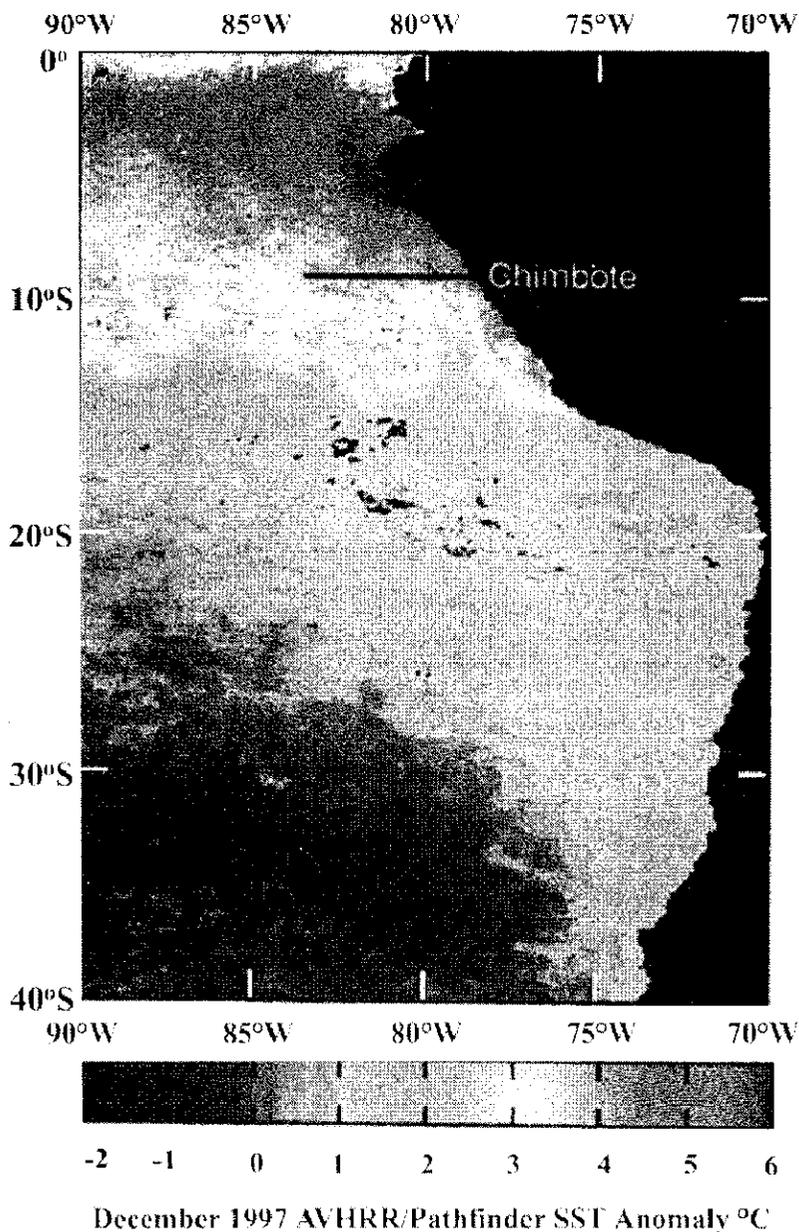


Figura 12. La anomalía de la temperatura superficial del mar AVHRR/*Pathfinder* para diciembre de 1997 en mar peruano y chileno, según Carr y Broad [2]

En diciembre de 1997, las anomalías mayores que 2.0°C sobre la latitud 12.0°S son anomalías que sobrepasan los 5.5°C a lo largo de las costa del Ecuador y norte del Perú (ver figura 12). Las anomalías fueron débiles (cerca de 1.0°C) en el sur del Perú, pero una segunda área con anomalías que alcanzan los 3.0°C aparecieron en el norte central de Chile. La mayor región de pesca de las aguas peruanas productivas están en el norte de Lima localizada cerca de Chimbote, en 9.5°S.

5. CONCLUSIONES

Las imágenes originales HRPT tienen muchas nubes impidiendo el estudio y la estimación de la temperatura de la superficie del mar usando el método “*Split Windows*”. La corrección geográfica usando un modelo orbital sin puntos de control tiene un error de 2 píxeles, desviándose hasta 4 km de su posición correcta. La recolección de los datos imágenes HRPT de ABTEMA (Asociación Boliviana de Teledetección y Medio Ambiente), IMARPE (Instituto del Mar del Perú) y INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales) es muy importante para la continuidad del trabajo actual y de otros en un futuro cercano.

Es también importante mencionar el método y diseño de un algoritmo para hacer la conversión de los formatos LAC/HRPT level 1b de la NOAA al formato BURL para su aplicación a una serie de tiempo más grande de casi 30 años. La temperatura de la superficie del mar en el litoral peruano es de menor magnitud que el más alejado de la costa. Valores de 17.0 a 33.0 grados centígrados son obtenidos en una resolución espacial de 2 km. Un estudio de este parámetro para imágenes más pequeñas, con resolución de 1 km, está en estudio y que será muy importante para determinar los frentes pesqueros a través de los frentes térmicos. La imagen promedio mensual de 10 imágenes (10 días) muestra la variación espacial de la temperatura de la superficie del mar desde la costa peruana hasta cerca de 90°W.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) por el soporte financiado a este proyecto conjunto entre la Universidad de Valladolid (España) y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (Perú) durante el año 2000. También, al Instituto del Mar de Perú (IMARPE) por proporcionarnos los datos imágenes HRPT del mes de enero 1999 y en forma especial al Ing. Luis Escudero, miembro del Laboratorio de Percepción Remota de IMARPE por su distinguida colaboración.

Agracemos también al coordinador nacional, Dr. Juan Tarazona, de la Red de Impacto Biológico El Niño por su apoyo a través del proyecto interdisciplinario y multilateral “Red de Impacto Biológico El niño (RIBEN)” financiado por la Organización de los Estados Americanos, (OEA) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) en el año 2000.

7. REFERENCIAS

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

- [2] Carr, M.E. and K. Broad, 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, (2000) 149-170.
- [3] Lauritson, Levin, Nelson, Gary J., and Porto, Frank W., Data extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers, NOAA Technical Memorandum NESS 107, November, (1979) 73 pp.
- [4] McClain E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, J Geophys. Res., 90, (1985) 11587-11601.
- [5] McMillin, L. M., and D. S. Crosby, J Geophys. Res., 89 C3, (1984) 3655-3661.
- [6] Smith, E., et al., Satellite-Derived Sea Surface Temperature Data Available From the NOAA/NASA Pathfinder Program, <http://www.agu.org/eos/elec/95274e.html>, © 1996 American Geophysical Union.
- [7] Rosborough G.W., D.G. Baldwin and W.J. Emery. IEEE T. Geosc. Remote Sensing, vol. 32, No. 3, (1994) 644-657.
- [8] Brunel and Marsouin. Int. J. Rem. Sens., vol. 8, (1987) 569-578.
- [9] Marsouin, A. y P. Brunel. Int. J. Rem. Sens., vol. 12, (1991) 1575-1592.
- [10] Brunel and Marsouin. Geographical Navigation of NOAA AVHRR series imagery. SATMOS Notes–CMS B.P. 147 22302 Lannion France, 1.81. (1986).
- [11] Kidwell, K., NOAA Polar Orbiter User's Guide. NCDC/NESDIS, National Climatic Data Center, Washington, DC. (1991).