

# Estimación de la Temperatura Superficial del Mar Peruano Usando Imágenes AVHRR y MODIS en el Infrarrojo Térmico (2008)

Edward Steve Alburqueque Salazar<sup>1</sup>  
Joel Rojas Acuña<sup>1</sup>  
José Carlos Eche Llenque<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM  
Av. Venezuela s/n. Pabellón de Física. Ciudad Universitaria, Lima 1  
<sup>1</sup>cfisica@hotmail.com  
<sup>1</sup>jrojasa@unmsm.edu.pe  
<sup>1</sup>jocarelle@hotmail.com

**Resumen.** El propósito de este trabajo es estimar la temperatura de la superficie del mar y describir su variabilidad espacial y temporal usando imágenes AVHRR/3 y MODIS/AQUA. El área de estudio está ubicada entre las coordenadas 0° - 20° S and 90° - 70 °O. Las imágenes en formato LAC han sido obtenidas de las páginas web CLASS NOAA y OceanColor. Los datos in-situ usados corresponden al periodo febrero-abril 2008. Los software de procesamiento de imágenes PACHA RICAJ y SEADAS fueron usados para realizar el filtro de nubes, estimación de la TSM, corrección geométrica, promedios y compuestos mensuales. El coeficiente de correlación entre las imágenes MODIS y AVHRR tiene el valor de 0.985. Para validar las imágenes AVHRR, de los datos in-situ se usaron 16 puntos que fueron los más cercanos en tiempo y ubicación con los datos de satélite. el coeficiente de correlación entre los datos in-situ y las imágenes TSM (AVHRR) fue 0.969 y el RMSD 0.46 °C.

Palabras clave: TSM, AVHRR, NOAA, MODIS.

**Abstract.** The purpose of this work is to estimate the Peruvian sea surface temperature and describe its spatial and temporal variability using AVHRR / 3 and MODIS/AQUA images. The study area is located between the geographic coordinates 0° - 20° S and 90° - 70 °W. The raw images in the LAC format have been obtained from the CLASS NOAA and OceanColor web pages. The in-situ data used correspond to the period february-april 2008. The image processing software PACHA RICAJ and SEADAS were used for the, cloud filtering, geometrical correction, SST estimation, monthly averages, monthly composites. The correlation coefficient between the image MODIS and the images AVHRR from the linear regression have the value of 0.985. For validate the images AVHRR with the in-situ data, were used 16 points that were more nearest in time and position. The correlation coefficient between the in-situ data and the SST images (AVHRR) was 0.969 and the RMSD was 0.46 °C.

keywords: SST, AVHRR, NOAA, MODIS.

## 1. Introducción

La temperatura de la superficie del mar es un parámetro relevante para la comprensión y cuantificación de los intercambios atmósfera – océano, también es crucial en el desarrollo de los sistemas biológicos y eventualmente puede usarse como trazador del dinamismo superficial. A través de sensores como el AVHRR y MODIS se puede determinar este parámetro sinópticamente sobre grandes superficies de manera reiterada. Estas características confieren a este tipo de observaciones un valor incalculable para los estudios oceanográficos. Sin embargo, la explotación adecuada de este potencial necesita de ciertas cualificaciones que permiten asignarles un nivel de significancia y de precisión. En el Perú la determinación de este parámetro es de mucha importancia debido a que es un indicador de la presencia del Fenómeno El Niño y La Niña. Estos

fenómenos afectan el clima de la costa dando lugar a una serie de daños que se concentran en la infraestructura vial y agricultura. El Laboratorio de Teledetección esta monitoreando la temperatura de la superficie del mar a partir de imágenes AVHRR y MODIS y el objetivo de este trabajo es la estimación de la TSM en el Perú usando las imágenes AVHRR y MODIS usando el software de procesamiento de imágenes PACHA RICAJ y SEADAS.

## 2. Datos satelitales

Los datos usados en este trabajo son imágenes del sensor AVHRR/3 del año 2008 en el formato level 1B (10 bits), obtenidas de la página web <http://www.class.noaa.gov> (171 imágenes) e imágenes Level 2 del sensor MODIS de la página web: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>. Todas las imágenes tienen una resolución espacial de 1km. Para validar las temperaturas de satélite se han utilizado datos In situ (1004 medidas) del 2008. Estos datos han sido obtenidos de las campañas oceanográficas realizadas por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2009).

## 3. Metodología

El software de procesamiento de imágenes AVHRR, PACHA RICAJ (Figura 1a), fue desarrollado en el Laboratorio de Teledetección (LABTEL) de la Facultad de Ciencias Físicas - UNMSM para visualizar y procesar las imágenes procedentes del sensor AVHRR/NOAA a bordo de la serie de Satélites de órbita polar NOAA y desarrollado en el entorno de programación C++ Builder. El software se ha implementado para realizar los siguientes procesos: calibración, corrección geométrica, estimación de la TSM, filtrado de nubes, promedios mensuales, compuestos Mensuales. Los formatos que soporta el software son imágenes de formato level 1b y HRPT; de los satélites NOAA 14, 15, 16, 17 y 18. Su creación se dio en octubre del 2002 y su última modificación en enero del 2008.

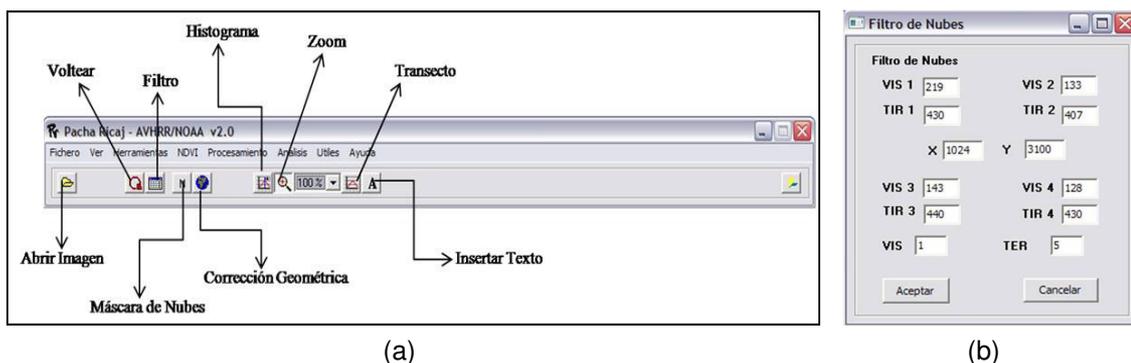


Figura 1. (a) Ventana Principal del software Pacha Ricaj. (b) Ventana Filtro de Nubes para anotar los valores de los umbrales.

El primer paso es aplicar el filtro de nubes usando la técnica de umbrales usando las bandas visible e infrarrojo térmico (banda 1 y banda 5) del sensor AVHRR. La Figura 1b muestra una venta del filtrado de nubes.

El segundo paso es la corrección geométrica usando la matriz de geolocalización incluida en el archivo que contiene la imagen y los datos auxiliares.

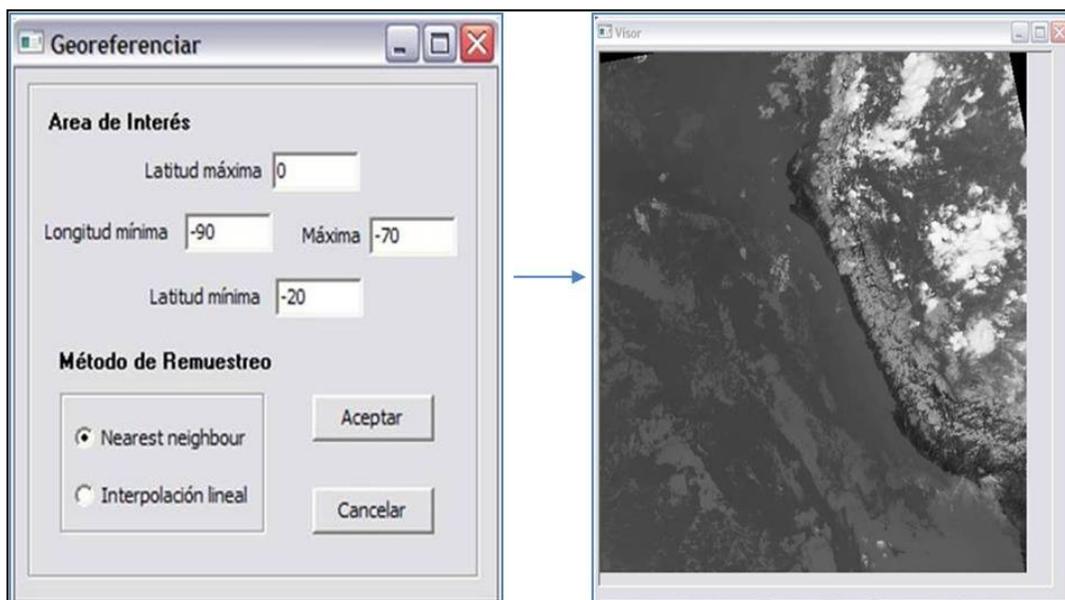


Figura 2. Ventana Georeferenciar e imagen georeferenciada

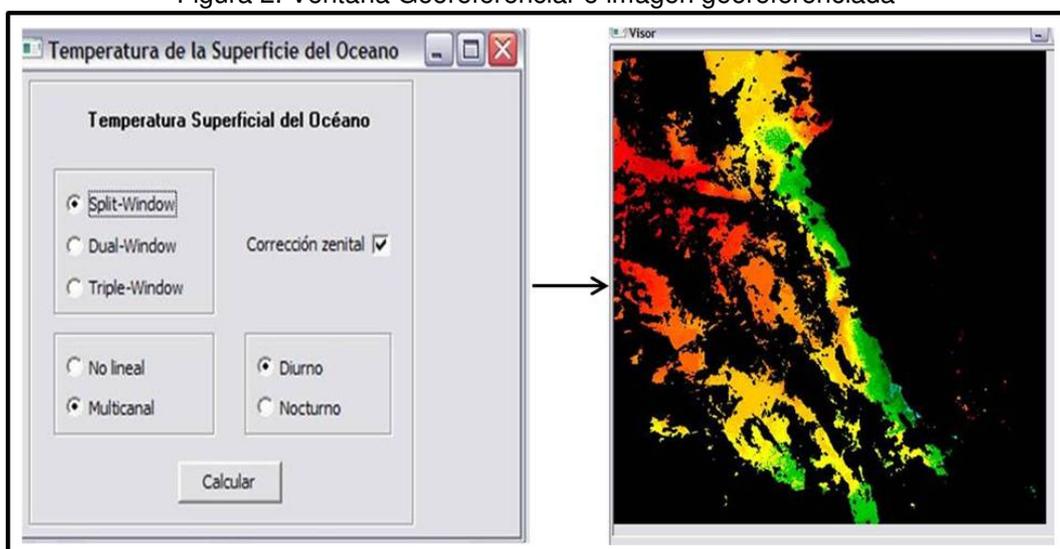


Figura 3. Ventana TSM e imagen TSM libre de nubes

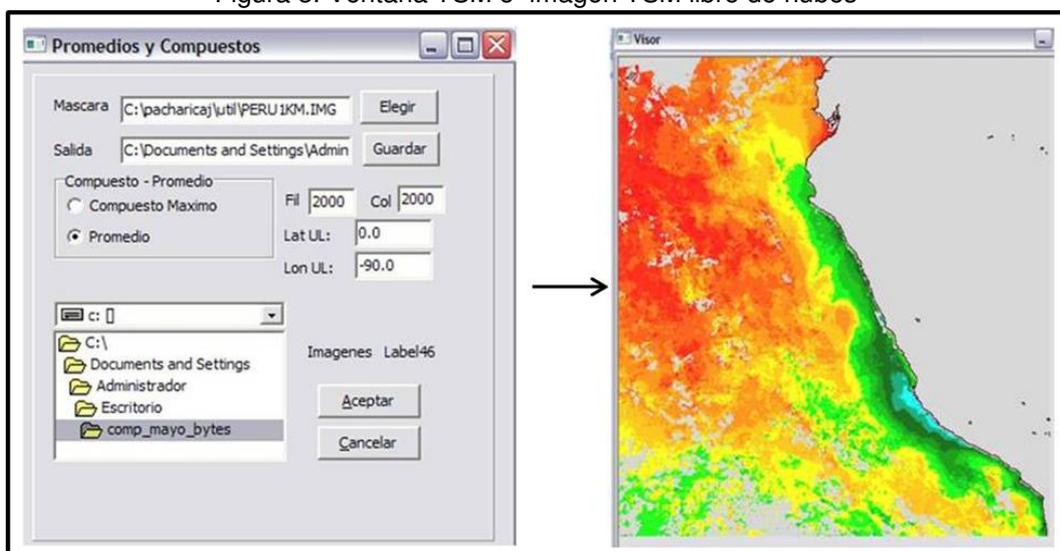


Figura 4. Promedio mensual de la TSM

En la ventana "Georeferenciar" se deben colocar las coordenadas límites de la zona (ver Tabla 1) y además se debe seleccionar el tipo de remuestreo usando el método de "vecinos próximos" o "interpolación lineal". La Figura 2 se muestra la ventana "Georeferenciar".

Tabla 1. Coordenadas para la corrección geométrica en el Pacha Ricaj

<b>Coordenadas geográficas para las imágenes LAC y GAC</b>		
	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>Máxima</b>	0°	-70°
<b>Mínima</b>	-20°	-90°
<b>Size of Image LAC</b>	2000 x 2000 píxeles	

Ahora ingresamos al menú **Procesamiento** y seleccionamos **TSM** en el cual se elige la opción **Split Window** (El algoritmo de Split Window es útil cuando la imagen es diurna) y **Multicanal** (Figura 3). Para obtener los promedios y compuestos mensuales, en el menú hacemos clic sobre **Útiles** y seleccionamos **Promedios** y **Compuestos** (Figura 4). Para procesar las imágenes MODIS se ha utilizado el software **SEADAS 5.2** (Figura 5) con el que se realizó el "binneado" espacial y temporal



Figura 5. Ventana principal del software SEADAS 5.2

#### 4. Resultados y Discusiones

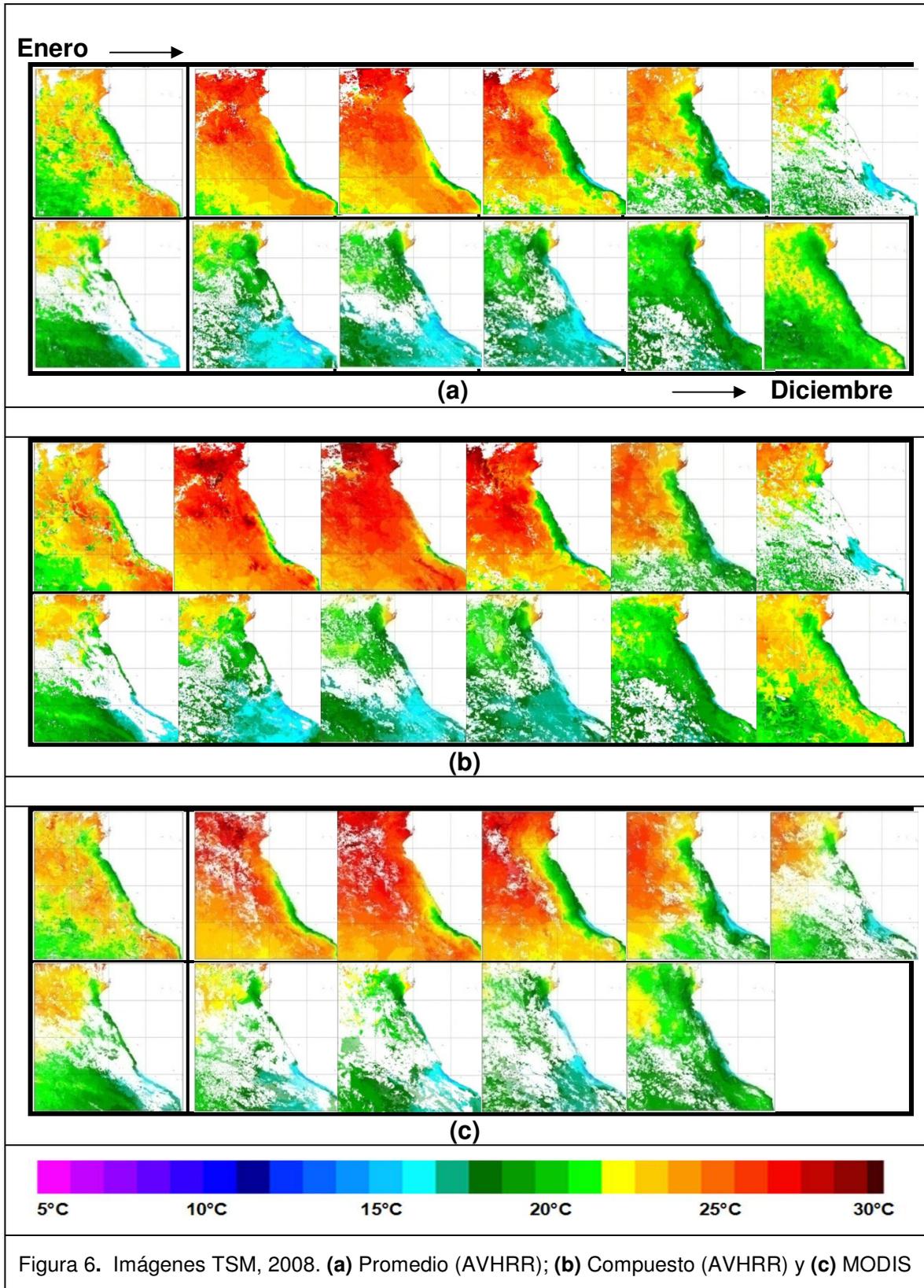
La Figura 6 muestra las Imágenes TSM del año 2008: (a) Promedio (AVHRR); (b) Compuesto (AVHRR) y (c) MODIS. En el mes de **Enero**, tiene predominancia una isoterma de 20°C frente a toda la costa. La temperatura aumenta a medida que se aleja de la costa y se orienta en dirección sureste. Esto no se cumple entre los 3°- 5° Sur en donde las temperaturas alcanzan valores de 23-25°C (debido a fenómenos de advección y calentamiento in situ). En el mes de **Febrero**, las isotermas muestran una tendencia paralela a línea costera entre las latitudes 8°- 20° Sur con valores entre los 18°C y 21°C. La causa por la cual éstas temperaturas son menores que las que se dan al norte de los 8° Sur es la Corriente Peruana o de Humboldt, Las temperaturas se elevan en general hacia el oeste y norte de los 8° Sur. En el mes de **Marzo**, se registraron las temperaturas más altas durante el año 2008. Ahora la isoterma de 18°C y 20°C se extienden entre los 12°-20° Sur. En general en este mes no se distingue una distribución regular de las temperaturas. En el mes de **Abril**, se observa una disminución de la temperatura frente a la costa con respecto al mes de Marzo. Las isotermas varían desde los 18°C hasta los 25°C.. Las temperaturas más bajas frente a la costa se registran entre los 14° y 17° Sur. En el mes de **Mayo**, para el mes de Mayo aumentan las áreas de bajas temperaturas. Las masas de agua cálida se desplazan al noroeste debido a que los Vientos Alisios del sur se intensifican. Las temperaturas más bajas siguen registrándose entre los 14° y 17° Sur. Se intensifican los gradientes, con isotermas menores de 24°C. En el

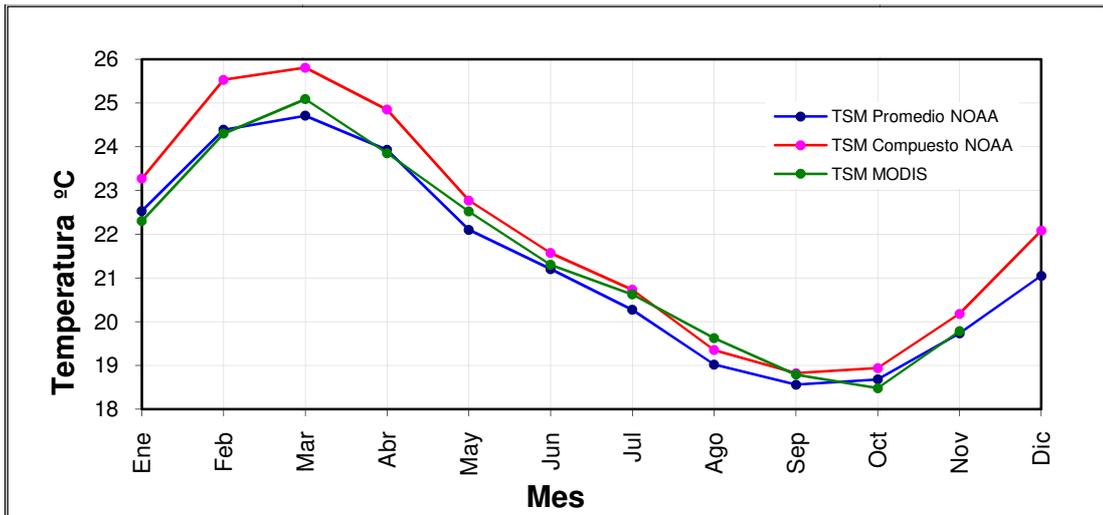
mes de **Junio** el problema que se presenta en este mes es la elevada presencia de nubes que cubre aproximadamente el 50% de las imágenes. Sin embargo es posible notar que las temperaturas; por debajo de los 10° Sur frente a la costa son de 19° -21°C. En el mes de **Julio**, con el inicio del Invierno, las temperaturas más bajas se expanden hacia el sur desde los 14° Sur, con valores entre 15°C -16°C; mientras que para el resto de la costa prevalecen temperaturas de 19°C - 21°C. En el mes de **Agosto**, para este mes el área de bajas temperaturas que antes se establecía hacia el sur desde los 14° Sur y frente a la costa, ahora se expande hasta el 85 ° Oeste con temperaturas de 15° C. Las temperaturas más altas que se ubican entre los 0° y 5° Sur alcanzan los 20 °C. En el mes de **Septiembre**, es el mes más frío del año 2008. La temperatura que se sitúa entre los 0° - 10° Sur y los 90° -80° Oeste es de 21° C. En el mes de **Octubre**, se inicia el periodo de calentamiento en el mar. Lo más notable es la presencia de una isoterma de 16° C frente a la costa, entre los 5° - 18° Sur. Se mantienen los 15°C en los 15° Sur debido al afloramiento. La temperatura disminuye en dirección sureste. En el mes de **Noviembre**, las isotermas frente a la costa tienen una distribución paralela y varían desde los 16° C hasta los 20° C. Más alejado de la costa la distribución de las temperaturas es irregular, siendo la temperatura más alta 22° C. En el mes de **Diciembre**, se da un incremento significativo en la TSM, con isotermas que presentan valores entre 20° C y 23° C frente a la costa. Las imágenes muestran el ingreso de aguas cálidas oceánicas ecuatoriales.

La Figura 7a muestra la TSM procedentes de los sensores AVHRR y MODIS. Se observa que los máximos se concentran en los meses de febrero y marzo y los mínimos se concentran en los meses de septiembre y octubre del año 2008. La Figura 7b y 7c muestran los gráficos de dispersión de los datos TSM medidos in situ por IMARPE y los estimados por AVHRR y MODIS. Esto da una buena correlación, 0.985 y 0.969, respectivamente.

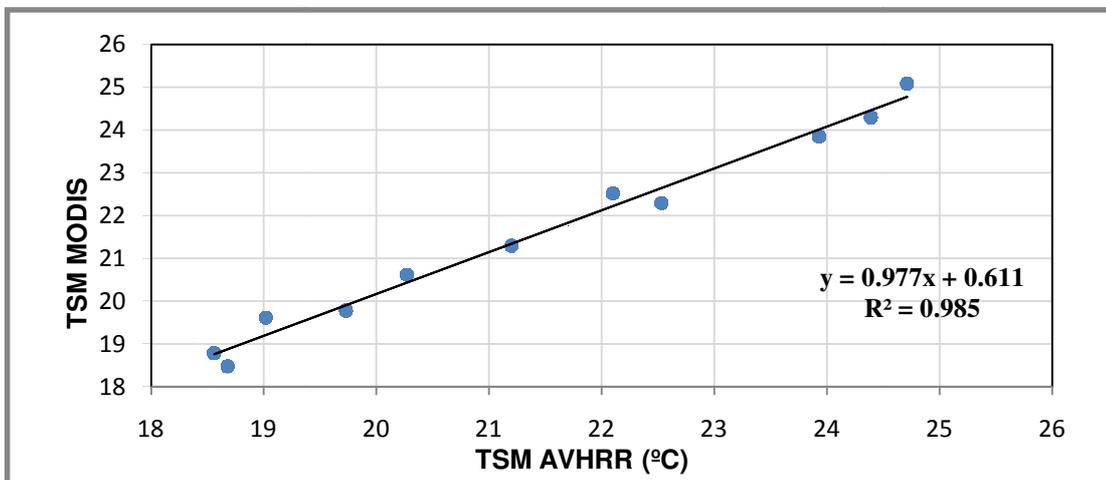
## 5. Conclusiones

Aguas cálidas ecuatoriales se hacen presentes acercándose a la costa norte desde el mes de enero, la presencia de esta agua es más notoria en los meses de febrero y marzo. Al parecer en esta formación juega un papel importante la advección de aguas calientes en la zona norte, sin dejar de lado el calentamiento "in situ". Esta masa de agua se aleja a partir del mes de abril. Las temperaturas más bajas frente a la costa se presentan entre los 14° y 16° de latitud durante todo el año con un rango de 14 a 19°C, esto es debido al afloramiento costero que trae aguas más frías de las capas sub-superficiales. En cuanto a variaciones de mes a mes, el calentamiento predomina de Enero hasta Marzo y desde Octubre a Diciembre. El enfriamiento es de Abril a Setiembre. De las imágenes obtenidas se destaca la elevada presencia de nubes frente a la costa desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre. Los frentes térmicos muestran una tendencia predominantemente paralela a la línea costera de enero hasta mayo. Esta característica sufre modificaciones notables en el invierno (Junio-Septiembre). El coeficiente de correlación temperaturas AVHRR y MODIS es 0.985 y el RMSD de las temperaturas in-situ con las temperaturas AVHRR es 0.46 °C.

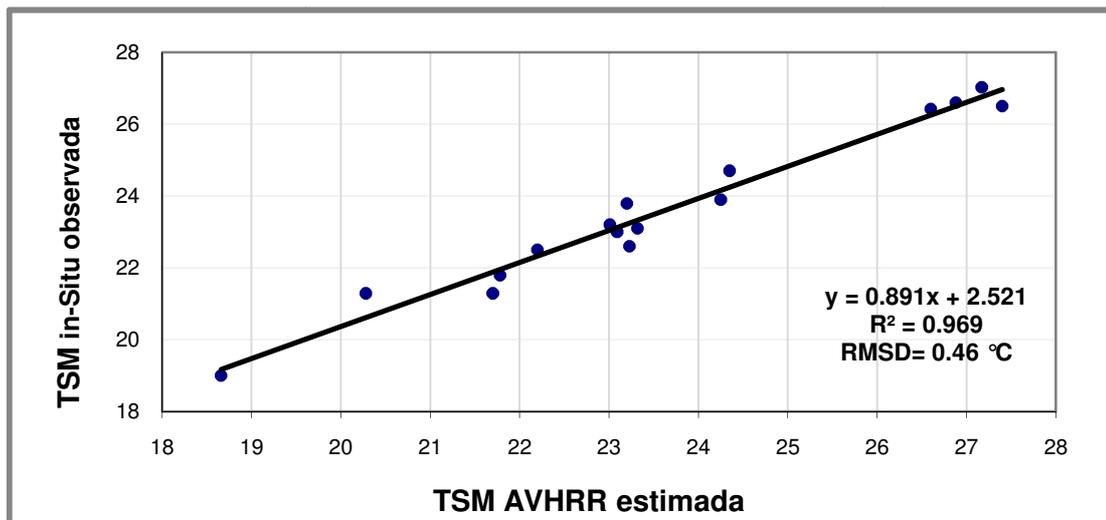




(a)



(b)



(c)

Figura 7. (a) Variación mensual de las temperaturas medias. (b) Dispersión de las TSM medias MODIS y AVHRR. (c) Dispersión de la TSM In-Situ vs TSM AVHRR

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por la UNMSM en el año 2009 y por programa INCAGRO del Ministerio de Agricultura en los años 2007-2009. Uno de los autores agradece a IMARPE por las practicas pre profesionales realizadas en el año 2009 y por los datos in situ.

## **Referencias**

- Anding**, D. y Kauth, R., 1970. Estimation of sea surface temperature from space, Remote Sensing of Environment, 1: 217-220.
- Barton**, I., (1995): Satellite-derived Sea Surface Temperature: Current status, J. Geophys. Res., 100, 8777-8790.
- Bernstein** R. L (1982). Sea surface temperature estimation using the NOAA-6 advanced very high resolution radiometer". Journal of Geophysical Research 87: 9455- 9465.
- McClain**, E. P. Multi-channel improvements to satellite-derived global sea-surface temperatures, Adv. Space Res, 2(6), 43-47, 1983.
- McMillin**, L. M., 1975, Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption. Journal of Geophysical Research, 36: 5113-5117.
- Monaldo** F. Primer on the Estimation of sea Surface Temperature Using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data. Version 2.0. October 22, 1997. Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University.