

Variabilidad Espacial y Temporal de la Concentración de Clorofila_a en el mar peruano usando imágenes MODIS – AQUA

Joel Rojas Acuña¹
Rosa Inés Paredes Peñafiel¹,
María Giuliana Quezada García¹
Flavio Carrillo Gomero¹

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM
Av. Venezuela s/n. Pabellón de Física. Ciudad Universitaria, Lima 1.
¹jrojasa@unmsm.edu.pe

Resumen. La concentración de la clorofila-a en el mar es un indicador de la biomasa del plancton y se utiliza como una entrada en los modelos de producción primaria o para rastrear corrientes, chorros y plumas oceanográficas. La clorofila-a en el mar peruano puede ser medida mediante teledetección en el visible. El objetivo de este trabajo es determinar la concentración de la clorofila-a procedente de las imágenes MODIS sobre el mar peruano. Los mapas de concentración de clorofila-a promedio mensual de enero, febrero, marzo y abril del año 2006 han sido obtenidos del MODIS-AQUA. En cada imagen mensual la concentración de la clorofila-a es mayor cerca a la costa y disminuye gradualmente lejos de la costa. En la costa Norte (0-5°S) la clorofila-a varía entre 0.05 a 0.5 gr/cm³ y se dispersa mas alejándose de la costa. En la costa central (5°-15°S) la clorofila-a varía entre 10 a 30 gr/cm³ y es más denso en la costa y disminuye lejos de la costa. En la costa sur (15°-20°S) la clorofila-a varía entre 3 a 5 gr/cm³ pero muy cerca a la costa. De enero a abril del 2006 estos valores disminuyen lentamente por el cambio de estación.

Palabras claves: Clorofila “a”, imágenes por satélite, MODIS, Oceanografía.

1. Introducción

La teledetección del color del océano produce información sobre los constituyentes del agua del mar tal como la concentración de pigmentos de fitoplancton, sedimentos suspendidos y sustancia amarilla. Los métodos de detección y mapeado de los constituyentes del agua del mar desde aviones y satélites han sido desarrolladas exitosamente durante las últimas tres décadas. El monitoreo rutinario de la variabilidad regional y temporal proporciona información de la clorofila del océano sobre producción primaria y subsiguiente evaluación de los procesos de producción secundarios y mayores ordenes tal como zooplancton y pesca marina. La clorofila-a es un indicador de la biomasa del plancton y se utiliza como una entrada a los modelos de producción primaria o para rastrear corrientes, chorros y plumas oceanográficas. La concentración de clorofila-a en una muestra de agua permite una estimación de la concentración de fitoplancton e, indirectamente, de la actividad biológica. Los organismos que contienen clorofila-a se encuentra en la base de la cadena alimenticia, por lo que la determinación de concentraciones de clorofila-a es uno de los índices claves de monitoreo de la población de fitoplancton y de la salud de nuestro sistema natural. La clorofila-a de la superficie del mar peruano puede ser medida mediante teledetección por satélite en el rango espectral del visible. El objetivo de este trabajo es determinar la concentración de la clorofila-a procedente de las imágenes MODIS en el mar peruano. Se analiza la variabilidad espacial y temporal de la concentración de clorofila-a a partir de imágenes MODIS usando el software ENVI e IDL en Windows, SEADAS en Linux y GIOVANNI independiente del Sistema Operativo. Los mapas de concentración de clorofila-a promedio mensual de enero, febrero, marzo y abril del año 2006 han sido obtenidos del MODIS-AQUA usando el ENVI+IDL. En cada imagen mensual la variabilidad

espacial de la clorofila-a en el mar peruano es diferente cerca a la costa y lejos de ella. En la costa Norte de Perú (0-5°S) la clorofila-a varía entre 0.05 a 0.5 gr/cm³ y se dispersa mas alejándose de la costa; en la costa central de Perú (5°-15°S) la clorofila-a varía entre 10 a 30 gr/cm³ y es más denso en la costa y disminuye lejos de la costa; en la costa sur de Perú (15°-20°S) la clorofila-a varía entre 3 a 5 gr/cm³ pero muy cerca a la costa. De enero a abril 2006 estos valores disminuyen lentamente por el cambio de estación. La aplicación Web llamado Giovanni nos da resultados a través de series de tiempo del área de estudio sin descargar la gran cantidad de datos disponibles.

3. Datos

3.1 Datos imágenes de satélite

Los datos imágenes MODIS fueron obtenidos de Ocean Color Team (Ocean Color, 2009) desde el 1ero de enero al 30 de abril del 2006. La cantidad de imágenes trabajadas son las siguientes: 175 imágenes para enero, 174 imágenes para febrero, 188 imágenes para marzo y 170 imágenes para abril, en total son 707 imágenes trabajadas. Cada imagen de clorofila-a, LAC, tiene un tamaño de 82,608,128 bytes y para la imagen que tiene la latitud y longitud de cada píxel, MYD03, es de 30,113,792 bytes. El rango de valores de la clorofila es de 0.015 – 2.00 hasta 64 mg.m⁻³.

3.2 Datos in-situ

Los datos de clorofila medidos en la Bahía de Independencia y Ancón por el equipo RIBEN (Tarazona, 2007) se encuentran ubicados en las coordenadas UTM (255731.897, 8698036.2) y (372718.903, 8413301.3) respectivamente. Estas corresponden a las mediciones realizadas a finales del mes de enero 2006. La Figura 1 muestran sus valores para varias profundidades y en diferentes posiciones de medición. Estos datos han sido tomados muy cerca de la orilla (menor a 5km).

4. Metodología

4.1 Procesamiento de las imágenes MODIS

Para obtener el producto imagen “concentración de clorofila-a” en el mar peruano a partir del sensor MODIS a bordo del satélite AQUA se ha realizado los siguientes pasos: (1) Las imágenes de nivel 2 (level 2) son obtenidas de la pagina web Ocean Color (Ocean Color, 2008) indicando el área de estudio (0° a 20° latitud sur y 90° a 70° longitud oeste) y el tiempo de la imagen. (2) Los datos imágenes de geolocalización se obtienen de la (Pagina LAADS WEB, 2008). (3) La georeferenciación, el mosaico y la reducción del área de estudio de las imágenes se realizaron con el software ENVI en Windows (Rojas, et al. 2007). El mosaico de las imágenes de un solo día deben tener las siguientes coordenadas: latitud de 0 a 20S y longitud de 90W a 70W y tendrán un tamaño de 2242 x 2242. La Figura 5 muestra el resultado de este procesamiento de imágenes. Giovanni es una aplicación Web (Giovanni, 2008) desarrollado por la GES DISC, que proporciona una forma sencilla e intuitiva para visualizar, analizar y acceder a la gran cantidad de datos de teledetección de las ciencias de la Tierra sin tener que descargarlos. A partir de ello se ha obtenido las Figuras 6 a 14

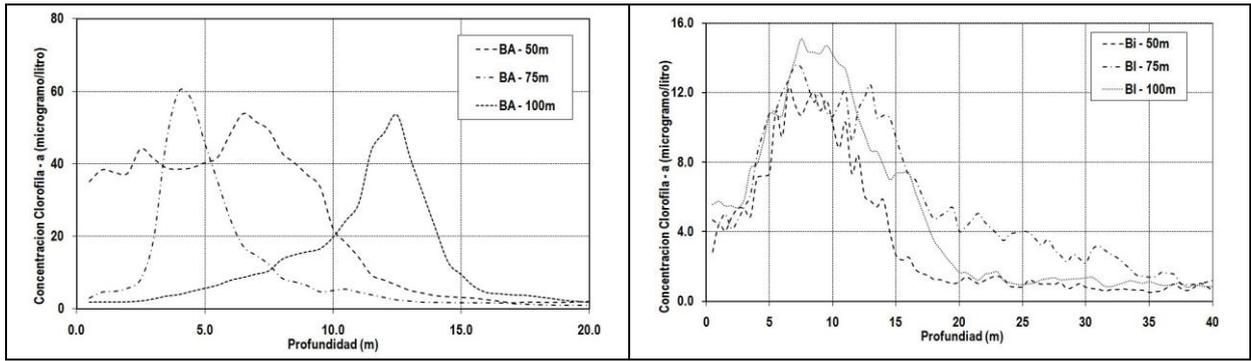


Figura 1. (a) Concentración de Clorofila-a en la Bahía de Ancón con coordenadas -11.8 y -77.2 [16].
 (b) Concentración de Clorofila-a en la Bahía de Independencia con coordenadas -14.3 y -76.2 [16].

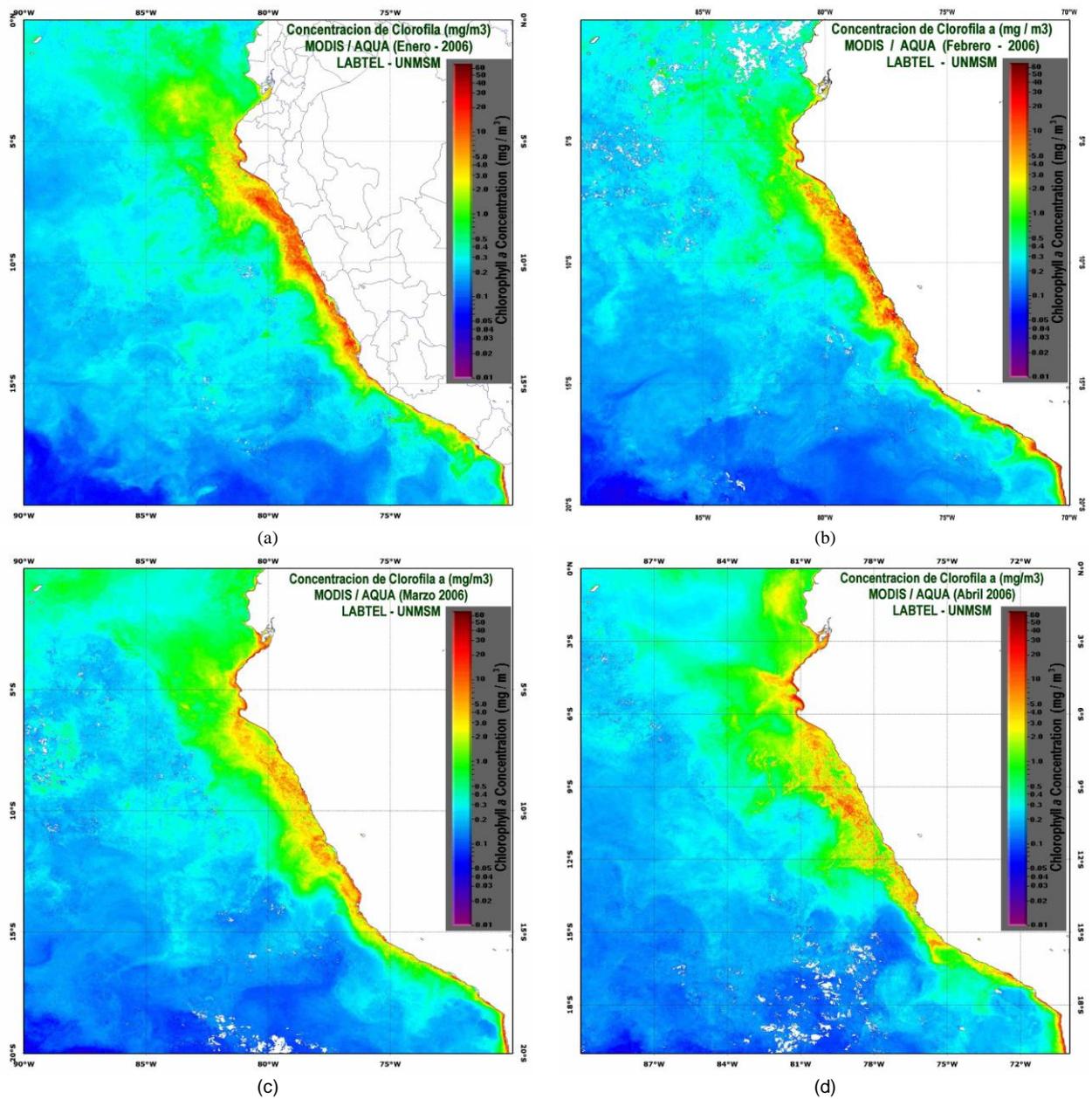


Figura 5 –Concentración de clorofila-a de los meses de (a) enero: (b) febrero, (c) marzo y (d) abril del 2006 obtenido del sensor MODIS – AQUA.

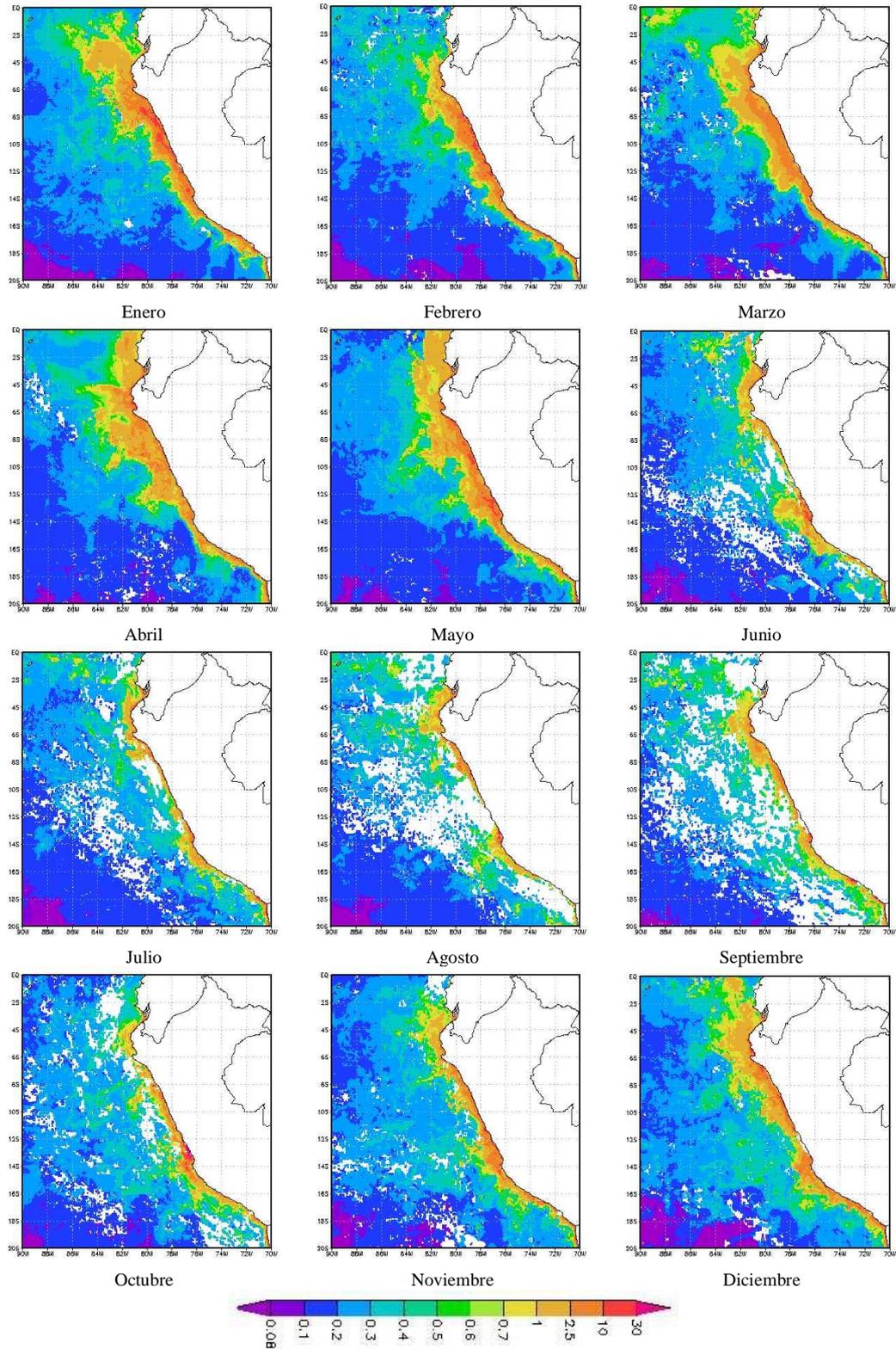


Figura 6 – Concentración de la clorofila – a (mg/m³) del litoral peruano (0 – 20S y 90 – 70S) a partir de las imágenes MODIS – AQUA en el año 2006 de 9 x 9 km como resolución espacial.

5. Resultados y Discusión

La variabilidad espacial y temporal de la clorofila-a de las imágenes MODIS-AQUA sobre el mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) se muestran en la Figura 5 con una resolución espacial de 1km y en el periodo de enero a abril del 2006. Se observa de la Figura 5 que los valores de la concentración de clorofila-a disminuyen mientras nos alejamos de la costa. Desde las costas de Chiclayo (4°S) a las de Paracas (14°S) toma valores altos de clorofila-a (mayor que 10µgr/l). En la costa norte desde Lambayeque a Tumbes los valores de clorofila son menores y se dispersan más. Se debe tener en cuenta que en el mar peruano confluyen cuatro corrientes oceanográficas, teniendo mayor concentración de clorofila la corriente de Humboldt que recorre muy próximo a la costa. Debido a esta confluencia la concentración de clorofila varía constantemente, observándose en algunos meses mayor concentración de clorofila-a en algunas zonas, como también se puede observar menor concentración de clorofila-a en otros meses en las mismas zonas.

En la Figura 6 se muestra la variabilidad espacial y temporal de la clorofila-a de las imágenes MODIS-AQUA sobre el mar Peruano (0 – 20°S y 90 – 70°W), con una resolución espacial de 9km y en el periodo de enero a diciembre del 2006. Se observa de la Figura 6 que en los meses de junio a noviembre del año 2006 la concentración de clorofila presenta valores mínimos y de diciembre a mayo presenta valores máximos. Esta variación estacional se muestra en la Figura 7 donde el promedio mensual del área de estudio muestra máximos en los meses de febrero a marzo y mínimos entre los meses de julio a agosto. Los valores de la concentración de clorofila-a del SEAWIFS es muy baja cuando se ha desarrollado un evento El Niño muy intenso como el Niño 1997-1998. Un grafico de dispersión (ver Figura 8) entre la clorofila-a de SEAWIFS y MODIS da una correlación de 0.6 indicando que las mediciones con el SEAWIFS son ampliamente mas exactas. Las Figuras 9 y 10 muestran la variación anual de la temperatura de la superficie del mar de imágenes MODIS en el periodo 2002 a 2007. Las Figuras 11 y 12 muestra la evolución anual de la serie de tiempo del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes MODIS (2002-2007) y SEAWIFS (1997-2007). La concentración de clorofila-a y la temperatura de la superficie del mar en el área de estudio está en fase, es decir, Los máximos de concentración de clorofila-a ocurre cuando son máximos la temperatura de la superficie del mar en esa área de estudio (Figura 13). La Figura 14 muestra la serie de tiempo de la anomalía del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes SEAWIFS (1997-2007).

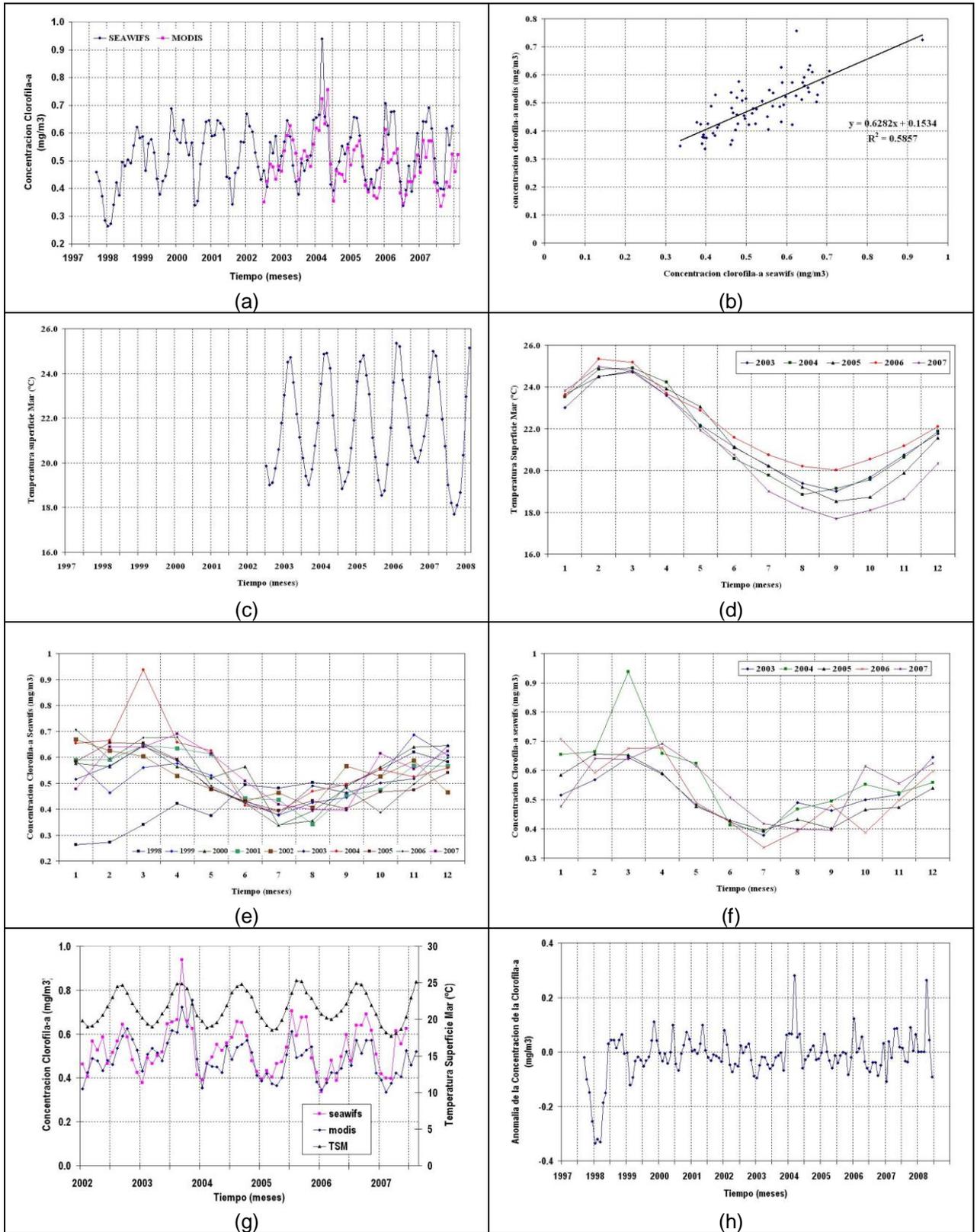


Figura 7. (a) Serie de tiempo promedio mensual de la concentración de la clorofila-a (mg/m^3) del litoral peruano (0–20S y 90–70W) a partir de las imágenes seawifs en el periodo 1997 a 2007 y modis en el periodo 2002 a 2008. (b) Grafico de dispersión de la serie de tiempo promedio mensual de la concentración de clorofila-a del litoral peruano (0–20S y 90–70W) a partir de las imágenes seawifs y modis en el periodo 2002 a 2008. (c) Serie de tiempo promedio mensual de la Temperatura de la Superficie del Mar (°C) del litoral peruano (0–20S y 90–70W) a partir de las imágenes modis en el

periodo 2002 a 2008. (d) Evolución anual de la serie de tiempo promedio mensual de la Temperatura de la superficie (e) Evolución anual de la serie de tiempo del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes SEAWIFS (1997-2007). (f) Evolución anual de la serie de tiempo del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes MODIS (2003-2007). (g) Serie de tiempo del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes MODIS (2002-2007) y SEAWIFS (2003-2007) y la Temperatura de la Superficie del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes MODIS (2002-2007). (h) Serie de tiempo de la anomalía del promedio mensual de la Concentración de Clorofila-a del Mar Peruano (0–20°S y 90–70°W) a partir de las imágenes SEAWIFS (1997-2007).

5. Conclusiones

La concentración de clorofila-a del mar peruano a partir de las imágenes MODIS y SEAWIFS cambia en el tiempo y espacio debido a la presencia de las cuatro corrientes que bañan la costa peruana. La anomalía de la serie de tiempo de la clorofila-a de imágenes SEAWIFS es mínima y negativa cuando está presente el evento El Niño 1997-1998. Las imágenes obtenidas durante los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2006 obtenido del sensor MODIS – AQUA nos muestra altos valores de concentración de clorofila_a muy próximas a la Costa. A medida que nos alejamos esta concentración va disminuyendo. La concentración de clorofila-a del mar peruano de SEAWIFS y MODIS da una correlación de 0.6 indicando que las mediciones con el SEAWIFS son ampliamente más exactas.

Referencias

- Ocean Color** (2009): http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/MSL12/master_prodlist.html/#Rrs.
- Tarazona, J. y C. Córdova.** 2007. Comunicación Personal.
- Ocean Color WEB** : <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov> – 2008.
- LAADS WEB** – Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> – 2008.
- Rojas, J.A.**, Arnulfo Guillen Guevara, Cesar Aguirre Céspedes, Juan Tarazona Barboza, Cesar Córdova Castañeda, Cesar Santisteban Alvarado, María Giuliana Quezada García y José Carlos Eche Llenque. Estudio de la Variabilidad espacial y Estacional de la Concentracion de la Clorofila_a en el Mar Peruano usando imágenes del sensor MODIS del satélite AQUA y su relación con el fenomeno El Niño en Perú. Informe Técnico 2007 – Instituto de Investigacion de Física.
- Giovanni**, <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/> - 2008.