

VALIDACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA *a* GENERADA POR EL SENSOR MODIS-AQUA CON DATOS IN SITU EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

M. Bastidas^{a,b} y E. Rodríguez-Rubio^b.

^aIngeniería Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

^bCentro Control Contaminación del Pacífico (CCCP), Armada Nacional, Tumaco,
(Recibido 11 de Oct.2005; Aceptado 16 de Mar. 2006; Publicado 16 de Jun. 2006)

RESUMEN

El uso de imágenes satelitales para estudiar los procesos físicos, biológicos y químicos del océano, ha llegado a ser una herramienta importante en la investigación y el monitoreo oceanográfico en diferentes regiones del planeta. Aunque esta herramienta es ampliamente utilizada en dichos estudios, requiere un proceso de validación para garantizar la fiabilidad de los datos. Este trabajo muestra los resultados de validar datos de concentración de clorofila *a* obtenidos por el sensor satelital MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), con respecto a datos in situ obtenidos en expediciones oceanográficas en la Cuenca Pacífica Colombiana y sus áreas insulares en los últimos tres años por el Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) de la Armada Nacional de Colombia. Para dicha validación, se calculó el error cuadrático medio logarítmico, el error absoluto medio, el sesgo y el coeficiente de correlación. La comparación mostró un error medio cuadrático logarítmico (RMSE) de 25.18% con un coeficiente de correlación de 0.7 usando 17 puntos en los cuales se colectaron datos que coincidieron con la toma por parte del sensor MODIS. El Océano Pacífico Colombiano mostró un buen ajuste con respecto a MODIS sin embargo presento un sesgo negativo lo cual indica la subestimación de la clorofila-*a*.

Palabras clave: Validación, MODIS, color del océano, clorofila, Pacífico Colombiano, SeaDAS.

ABSTRACT

The use of satellite images to study the physical, biological and chemical processes from the ocean has been an important tool in the oceanographic research and monitoring in different regions from the planet. Although this tool is widely used in these studies, it's requires a validation process to guarantee the reliability of the data. This work shows the results of validating data of chlorophyll-*a* concentration obtained from satellite sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), with in situ data obtained from oceanographic expeditions in the Colombian Pacific Ocean and its insulars areas in the last three years colleted by Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). Validation was made calculating the root mean square log error, the average absolute error, the bias and the correlation coefficient. The comparison indicated a root mean square (RMS) log error of 25.18%, with a correlation coefficient of 0.7 using 17 data points where in situ and MODIS data were coincident and collocated. The Colombian pacific ocean showed very good agreement with MODIS, however shows a negative bias, indicating an underestimation of Chlorophyll-*a*.

Key words: Validation, MODIS, ocean color, chlorophyll, Pacífico Colombiano, SeaDAS.

1. Introducción

El color del océano fue medido durante 8 años por el CZCS (*Coastal Zone Color Scanner*), el primer sensor de color, lanzado a bordo del satélite Nimbus 7 y que colectó datos desde noviembre de 1978 hasta junio de 1986. Desde ese entonces, han sido varios los lanzamientos de sensores satelitales que suministran datos globales del color del océano. Actualmente, se encuentra en operación el sensor MODIS (*Moderating Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo del satélite AQUA, el cual fue lanzado en mayo del 2002. El MODIS equipa un radiómetro de alta sensibilidad (12 bits) y tiene 36 bandas espectrales en longitudes de onda que abarcan desde las 0.4 hasta las 14.4 micras. Tiene una alta relación señal/ruido y estabilidad para bandas espectrales estrechas, lo cual mejora su calibración radiométrica y estabilidad de monitoreo, mejorando así los datos científicos producto de sus algoritmos [1]. Los sensores del color del océano captan la radiación reflejada por la superficie del océano. En la parte visible del espectro, las características espectrales de la clorofila pueden ser claramente identificadas. Sin embargo, los complejos procesos de interacción océano-atmósfera, hacen que los datos geofísicos adquiridos desde plataformas espaciales tengan cierto nivel de incertidumbre; por lo cual, los datos provenientes de sensores satelitales, necesitan ser comparados con respecto a los obtenidos in situ en expediciones oceanográficas.

2. Material y método

Se utilizaron imágenes de nivel 2 del sensor satelital MODIS-AQUA. El criterio de selección de las imágenes fue la ausencia de nubes en la zona y que se advirtiera claramente la cuenca. Las imágenes fueron procesadas con el SeaDAS, software libre de la NASA, a fin de obtener imágenes con la proyección adecuada y los límites de latitud y longitud correspondientes a la Cuenca Pacífica Colombiana (CPC), obteniéndose como salida dos archivos HDF con la información de coordenadas y clorofila, que fueron leídos con rutinas implementadas en Matlab y así se obtuvieron los datos de concentración de clorofila en determinadas posiciones geográficas correspondientes a estaciones biológicas de la expedición oceanográfica. Los datos in situ fueron suministrados por el laboratorio de química del CCCP, en el cual la concentración de clorofila *a* es determinada usando el método de espectrofotometría UV-VIS.

Para el análisis estadístico se utilizó el error cuadrático medio logarítmico (RMSE), el error absoluto medio (MAE), el sesgo (BIAS) y el coeficiente de correlación *r*, los cuales fueron calculados mediante rutinas implementadas en Matlab. Los datos in situ y MODIS fueron transformados logarítmicamente (base 10) antes de hacer la comparación estadística debido a que la distribución natural de la clorofila en el océano es lognormal [2]. Siendo *S* los valores obtenidos del sensor satelital, *I* los obtenidos in situ y *n* el número de muestras, consideramos:

$RMSE = \sqrt{\frac{\sum [\text{Log}(S) - \text{Log}(I)]^2}{n}} \times 100$	(1)
$MAE = \frac{\sum \text{Log}(S) - \text{Log}(I) }{n} \times 100$	(2)
$BIAS = \frac{\sum [\text{Log}(S) - \text{Log}(I)]}{n} \times 100$	(3)
$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}}$	(4)

3. Resultados y Discusión

La Figura 1a muestra la distribución y concentración de clorofila *a* observada en un día de muestreo en la CPC, con las estaciones biológicas indicadas con un asterisco. La Figura 1b, muestra el diagrama de dispersión del análisis de correlación. Se obtuvo un RMSE de 25.18%, inferior al 35% que de acuerdo a [3],[4] indica buen desempeño del set de datos MODIS; un MAE de 18.7%, un BIAS de -12% y un *r* de 0.7.

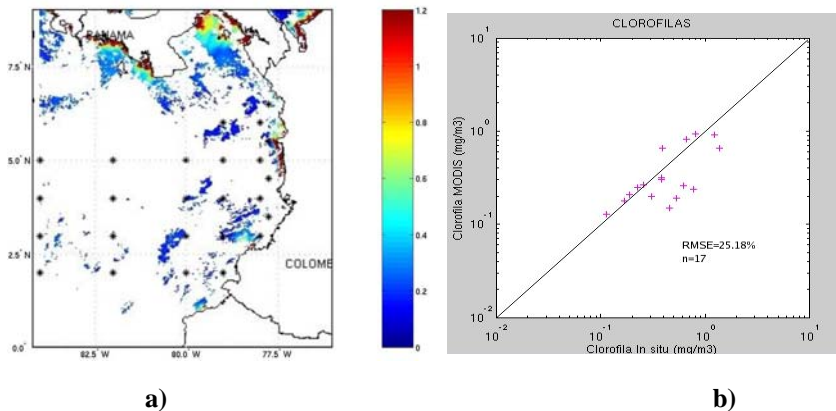


Figura No.1. a) Clorofila *a* en la CPC (mg/m^3) en un día de muestreo. Fuente: MODIS 21/07/05. b) Diagrama de dispersión para un conjunto de 17 observaciones en la CPC.

Hay que tener en cuenta que, a la altura que se encuentra el sensor, más del 80% de la luz que alcanza el detector está influenciado por la atmósfera [5], y pequeños errores en la estimación de la contribución atmosférica, pueden causar sesgos significativos en la estimación de la contribución del agua. La nubosidad en el área de estudio fue un factor determinante para la obtención de imágenes adecuadas de la CPC durante los días de muestreo, de aquí que la contribución atmosférica influyó en la señal recuperada por el sensor durante los mismos.

Comparando las características del sensor MODIS con respecto a la del espectrofotómetro UV-VIS empleado en el laboratorio; en cuanto a resolución radiométrica y espectral, el MODIS supera al espectrofotómetro. Tecnológicamente hablando, el MODIS posee un nivel sin precedentes de fidelidad radiométrica y estabilidad sobre un amplio rango espectral, lo cual lo convierte en un prodigioso sensor del color del océano, pero hay que tener en cuenta otros aspectos relevantes a las medidas realizadas por este sensor, entre las que se encuentran su resolución espacial y temporal. El MODIS tiene resolución espacial de 1Km, lo cual no es apropiado para aguas costeras donde la composición de la columna de agua puede cambiar drásticamente en esta distancia y más aún, en una cuenca como la CPC que está influenciada por la descarga de ríos y contaminación en los puertos. Las propiedades ópticas de las aguas costeras varían considerablemente en el tiempo y en el espacio. Existe un error asociado con cada medida in situ vs satelital, pero este es mucho mayor en aguas costeras ya que existe un error mayor asociado con la correlación espacio-temporal de las medidas. Es por esto, que ha de tenerse en cuenta la hora de la medición in situ y de paso del satélite. La resolución temporal del MODIS es de 1 día, y para la validación, es esencial tomar los datos in situ lo mas cerca como sea posi-

ble a la hora de paso del satélite. Aún, una diferencia de una hora podría invalidar la comparación si ocurren variaciones considerables de las aguas locales [6]. Se realizó una comparación entre las horas de muestreo y de paso del satélite para el conjunto global de datos, obteniéndose como resultado una diferencia promedio de 8 horas; lo cual lleva a mencionar que la no correlación temporal en la captura de datos no influyó considerablemente en los resultados obtenidos.

4. Conclusiones

Se obtuvo un r de 0.7 indicando buena relación lineal entre las variables. El RMSE obtenido del 25.18% indica buen desempeño del set de datos MODIS con respecto a los in situ, pues no supera el RMSE del 35% requerido para una mayor credibilidad en datos obtenidos de sensores satelitales. El MAE del 18.7% indica bajo error medio en la predicción y el sesgo negativo muestra la tendencia a subestimar el valor de la clorofila obtenida satelitalmente. Las condiciones climáticas de la CPC constituyen una desventaja a la hora de aplicar el método de obtención de datos de clorofila a partir de imágenes satelitales, ya que no permite contar con imágenes apropiadas e impiden dar continuidad temporal a las observaciones remotas de nuestra cuenca.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Control Contaminación del Pacífico y la Dirección General Marítima (DIMAR), así como a la tripulación del buque oceanográfico ARC Providencia por su colaboración durante el crucero oceanográfico por la CPC, y por los datos suministrados a través de su laboratorio de química para la ejecución de este trabajo.

Referencias

- [1] Esaias, W.E., Abbott, M.R., Barton, I., Brown, O.B., Campbell, J.W., Carder, K.L., Clark, D.K., Evans, R.H., Hoge, F.E., Gordon, H.R., Balch, W.M., Letelier, R., Minnett, P.J. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1998, 36, 1250–1265.
- [2] Campbell, J.W. Journal of Geophysical Research. 1995, 100(C7), 13237-13254.
- [3] Eplee, R. E., Robinson, W. D., Bailey, S. W., Clark, D. K., Werdell, P. J., Wang, M., Barnes, R. A., & McClain, C. R. Applied Optics. 2001, 40(36), 6701– 6718.
- [4] Hooker, S. B., McClain, C. R. Progress in Oceanography. 2000, 45, 427– 465.
- [5] Morel, A. Boundary layer meteorology. 1980, 18, 177-201.
- [6] IOCCG . International Ocean-Colour Coordinating Group. 2000, Report number 3. 145.