



*Jaime A. Orejarena
A_como_la@hotmail.com

*Juan Gabriel Domínguez
Gabrielh76@hotmail.com

*Constanza Ricaurte
sasyrcaurte@yahoo.com

*Gisela Mayo
gisemayo2003@yahoo.es

*Carlos Alberto Andrade
Candrade@buzcald.com

**Hernán Mauricio Ospina

**William Castro

*GIO-ENAP
**CIOH

CIOH
www.cioh.org.co

Variaciones de la concentración de la clorofila *a* y su relación con los parámetros físicos medidos en los bancos de Salmedina durante 2003 2004, Caribe colombiano

Resumen

Se estudia la variabilidad de la clorofila *a* (medida por el método Strickland y Parsons, 1972) superficial y su relación con los parámetros oceanográficos medidos en los Bancos de Salmedina en el lapso de septiembre de 2003 a septiembre de 2004. Los parámetros oceanográficos observados respondieron principalmente a la estacionalidad tropical y a la ocurrencia de surgencia durante la época de vientos. La clorofila *a* mostró una oscilación con un período alrededor de 57 días, con modulación estacional en cuanto a su cantidad, siendo mayor en la época de lluvias. Esta periodicidad se observó en la turbidez y la transparencia del agua.

Palabras claves: Clorofila *a*, bancos Saldemina, Mar Caribe

Abstract

The variability of the chlorophyll *a* at sea the surface measured by (Strickland y Parsons, 1972) was studied and compared with oceanographic parameters measured in Salmedina Banks during September 2003 - September 2004. The parameters responded mainly to the tropical seasonality, and the occurrence of upwelling during the windy season. The chlorophyll showed an oscillation around 57 days, with seasonal modulation in its amount, with larger values during the rainy season This regularity was observed in the turbidity and the transparency of the water.

Key words: Chlorophyll *a*, Saldemina banks, Caribbean Sea

Introducción

La Clorofila *a*, es un factor importante para entender los

Metodología

procesos que suceden en los Bancos de Salmedina junto con el conocimiento integral que debe tenerse sobre ellos. A su vez el conocimiento de las diferentes características oceanográficas de la zona de estudio que permiten entender no sólo este comportamiento biológico sino la dinámica del área en general.

Los Bancos de Salmedina son una formación coralina localizada a 7 km al Oeste de la punta norte de la Isla de Tierra Bomba (Bahía de Cartagena) que se considera poco explorada. Desde el punto de vista oceanográfico, esta zona recibe los esfuerzos encontrados de la corriente superficial forzada por los vientos Alisios del norte en el sector y de la contracorriente de Panamá-Colombia desde el sur, a nivel sub - superficial, con variaciones estacionales y de media escala que las modulan (Andrade *et al.*, 2003). Lo que se conoce hasta el momento ha sido resultado de estudios generales a mayor escala pero muy poco se ha documentado sobre las condiciones oceanográficas en los Bancos de Salmedina en particular. La sola presencia de los Bancos afecta significativamente las corrientes, propiciando sitios de calma y aceleración que pueden ser determinantes para diferentes hábitats (Andrade, *et al.*, 1997) y comunidades, como la fitoplanctónica.

Teniendo en cuenta la evaluación del comportamiento de las comunidades autotróficas, al igual que el de los factores abióticos que la afectan, es necesario entender cambios locales naturales de este ecosistema. El objetivo de este trabajo es entender el comportamiento temporal de algunas de las variables oceanográficas y meteorológicas más importantes medidas durante el 2003-2004, y determinar las relaciones de la biomasa fitoplanctónica en la capa superficial en los Bancos de Salmedina y los agentes físicos medidos.

Durante Sep. / 2003 a Sep. / 2004 se ocuparon cinco estaciones ubicadas en los Bancos cubriendo la zona cada quince días (Fig. 1). El desplazamiento hacia el área se realizó en lancha, ubicando cada estación con un geoposicionador satelital GARMIN modelo MAP 76.

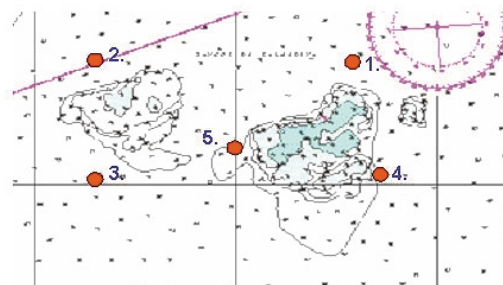


Figura 1. Los puntos rojos señalan las cinco estaciones que se monitorean dos veces al mes para la toma de datos oceanográficos. Fuente: Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), 2000

En cada estación se midieron los parámetros meteorológicos (nubosidad, velocidad y dirección del viento) utilizando una estación meteorológica digital marca CASIO y un anemómetro. Los datos fueron comparados y complementados con información de la estación del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

También en cada estación se lanzó un CTD SeaBird SBE-19 hasta una profundidad de 30 metros o el fondo marino. Con este instrumento se midieron la presión, temperatura in situ y la conductividad eléctrica en la columna de agua.

Posteriormente se extrajeron las propiedades relacionadas a éstas: profundidad en metros, temperatura potencial, salinidad y densidad en forma de sigma-t. La transparencia se determinó con disco Secchi y la turbidez se midió usando un turbidímetro electrónico con una muestra tomada en campo.

Para la determinación de clorofila *a* se tomaron muestras de agua con ayuda de una Botella Niskin de 5 litros a 5 m de profundidad. La muestra se transportó en envases de un litro de capacidad hasta completar cuatro litros por estación, los frascos debidamente rotulados se almacenaron en una nevera de campo con hielo. Adicionalmente en cada estación se llenó una botella más de agua superficial para obtener los datos de turbidez.

El análisis de Clorofila *a* se efectuó a través de espectrofotometría de absorción, siguiendo la metodología propuesta por Strickland y Parsons y modificada por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), lugar donde se llevó a cabo la fase de laboratorio de este proyecto.

La muestra se filtró en bomba de vacío utilizando un filtro de fibra de vidrio GF/F de 1.2 μm , al concluir el filtrado de las muestras los filtros se colocaron dentro de tubos de centrifugación previamente forrados en papel aluminio, con el fin de evitar la degradación de la clorofila *a* por la exposición directa a la luz, se agregaron 5 ml de acetona, la cual se utiliza como solvente para la clorofila *a* contenida en los filtros.

Las muestras se refrigeraron a 27 °C de un día para otro. Después de 15 horas aproximadamente, los filtros se maceraron dentro de los tubos de centrifuga utilizando un homogenizador de vidrio, se les agregó 5 ml más de acetona y se llevaron a

centrifugación por 15 minutos. El sobrenadante que se obtiene de la centrifugación se llevó al espectrofotómetro y se leyó su absorbancia a longitudes de onda de 750, 664, 667 y 630 nm.

Los datos se registraron en una hoja electrónica y se realizaron los cálculos para encontrar la cantidad de clorofila *a* en mg/m^3 aplicando las ecuaciones tricromáticas de Jeffrey y Humphrey (Standard methods, 1995)

Resultados

Nubosidad

Las observaciones hechas de la nubosidad tuvieron gran variabilidad a lo largo del muestreo. Se diferencian tres épocas durante el año de muestreo (Fig.2), dos que correspondieron a la época de lluvias agosto a diciembre. A partir de diciembre hasta abril de 2004 los valores de nubosidad disminuyeron reportando en su mayoría cielos despejados, con un evento especial el 7 de enero con un valor de 6 octas, para ese mismo año a partir de mayo cuando entraron de nuevo las lluvias los valores de nubosidad aumentaron. En general para todo el año de estudio hubo un promedio de 5 octas.

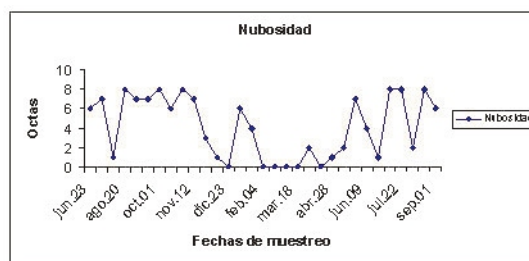


Figura 2. Valores de nubosidad (en octas) por estación durante el año de muestreo

Intensidad Viento

Los vientos tomaron fuerza de acuerdo a las diferentes épocas climáticas (Fig. 3), en el mes de agosto del 2003 hubo un valor máximo que alcanzó 10.8 nudos, a partir de este mes los vientos disminuyeron notablemente hasta reportar días de total calma en el mes de septiembre. Ocurrió un aumento inusual hacia finales de noviembre debido a la formación de la tormenta tropical “Odette” al norte de las costas colombianas. La intensidad del viento aumentó desde principios del mes de enero de 2004 con una velocidad de 10 nudos, nuevamente en los meses de lluvia entre abril y julio los vientos presentaron valores relativamente bancos y es en julio y agosto a la llegada del veranillo incrementó nuevamente. El promedio de esta medida fue de 5 nudos.



Figura 3. Valores de Intensidad del viento por estación durante el año de muestreo

Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar fue alta en el mes de octubre de 2003 (30 °C) se mantuvo alta hasta finales del mes de noviembre y alcanzó temperaturas de 26.6 °C en el mes de marzo de 2004. Para los siguientes meses la temperatura aumentó obteniendo en septiembre el valor más alto en ese año con una temperatura de 29.32 °C (Fig. 4). En el transcurso del año la temperatura varió también de acuerdo a las diferentes épocas climáticas, las mínimas temperaturas se presentaron a principios del mes de enero cuando la influencia de los vientos se hizo

mayor y las lluvias disminuyeron. El promedio anual fue de 28.65 °C



Figura 4. Temperatura superficial del mar por estación durante el año de muestreo

Salinidad

La salinidad presentó un comportamiento inverso al de la temperatura, la figura 5 muestra como disminuyó gradualmente hasta el primero de octubre de 2003 con una concentración de 30.87 a partir de esa fecha aumentó hasta alcanzar un valor máximo de 36.10 en enero de 2004. Para este año los valores se mantuvieron relativamente estables hasta los meses de mayo y junio cuando la época de transición volvió a tomar fuerza y los valores disminuyeron. La salinidad media fue de 34.6.

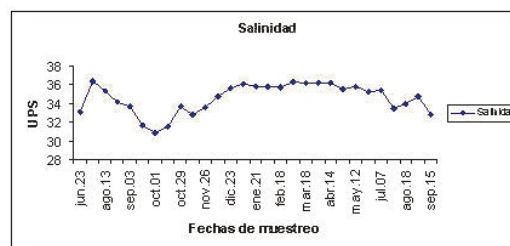


Figura 5. Valores de Salinidad por estación durante el año de muestreo

Transparencia

La transparencia del mar mostró tres procesos importantes (Fig. 6), La mayor transparencia observada fue de 23 m en el mes de julio de 2003, también se observaron dos eventos

especiales el 10 de diciembre y el 3 de marzo con transparencias de 2 y 3 metros respectivamente. Un tercer proceso que se presentó a partir de abril de 2004 cuando los valores oscilaron en el rango de 20 y 8 m, en razón a la presencia de aguas muy turbias que llegaron al área de estudio durante ese muestreo.

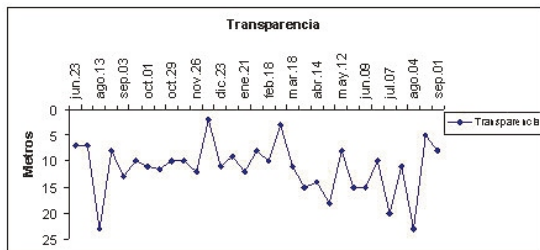


Figura 6. Transparencia por estación durante el año de muestreo

Turbidez

Como era de esperarse en esta agua la turbidez mostró un comportamiento inverso a la transparencia, (Fig. 7). Se observaron dos picos altos los días 10 de diciembre y 03 de marzo presentándose en este último el valor más alto con una concentración de 4.22 NTU. Durante el muestreo los valores de turbidez se mantuvieron entre 2 y 0.2 NTU, con un valor promedio de 0.81 NTU.

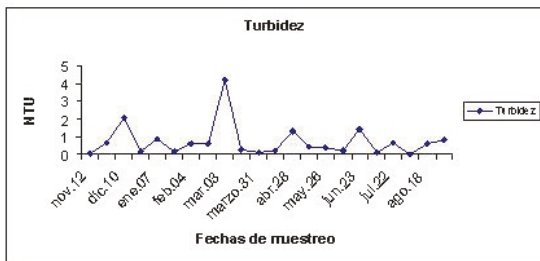


Figura 7. Turbidez por estación durante el año de muestreo

Clorofila *a*

La clorofila *a* presentó un comportamiento

mas o menos cíclico y se observaron siete eventos puntuales que mostraron altas concentraciones en los meses de agosto, octubre y diciembre de 2003 y en marzo, mayo, julio y septiembre de 2004. El máximo valor se observó el 10 de diciembre de 2003 con una concentración de 1.20 mg/m³. El rango de variación de la concentración de clorofila *a* estuvo entre los 1.20 mg/m³ y 0.06 mg/m³ con una concentración promedio de 0.39 mg/m³ (Fig. 8).

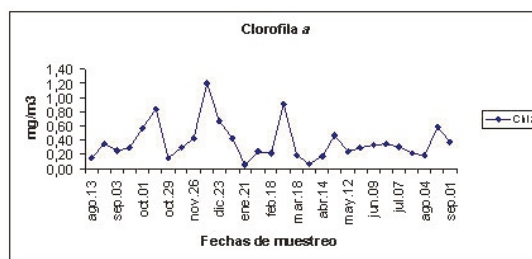


Figura 8. Variabilidad de la Clorofila *a* por estación durante el año de muestreo

Discusión

Las observaciones de temperatura, salinidad, nubosidad y vientos analizados correspondieron al esperado para las diferentes épocas climáticas. La temperatura superficial del mar fue más baja, acompañada de alta salinidad, pocas nubes y vientos fuertes durante la temporada de vientos, la salinidad bajó cuando aumentó la temperatura superficial del mar, aumentó la nubosidad y disminuyó durante la época de lluvias y en la de transición. La anomalía en respuesta al veranillo fue detectada en julio de 2003 y agosto de 2004 (Andrade y Barton, 2000).

En general los niveles de clorofila *a* en los Bancos fueron característicos de áreas marinas con fuertes influencias de aguas oceánicas que son oligotróficas donde el fitoplancton es

escaso aunque variado (Márquez 1996). Los Bancos presentaron en promedio durante el año observando valores menores a 0.5 mg/m^3 , concentraciones muy bajas si las comparamos con otros estudios realizados en el Caribe (e.g. Arias 1984, Philips, E. y Badylak 1996, Tigreros 2002), donde los valores fueron superiores a 1.5 mg/m^3 . Estos estudios fueron realizados en áreas costeras donde el aporte de aguas continentales ricas en nutrientes es constante. Se puede decir por lo tanto que los Bancos presentan gran influencia de aguas oceánicas apoyados en los bajos promedios registrados de clorofila *a*, los altos valores de transparencia y bajas temperaturas del agua en la zona durante la mayor parte del año.

También resulta razonable que la producción de la clorofila *a* en el área de estudio presentara una relación directa con la turbidez e inversa con la transparencia. Esto se debe a la llegada de aguas superficiales continentales cargadas de nutrientes que favorecieron el crecimiento del fitoplancton. Estas plumas tuvieron diferente origen dependiendo de la temporada del año. En temporada de lluvias los aportes del Canal del Dique se vuelven muy importantes en la zona debido a la ausencia de vientos y el aumento en el caudal por las lluvias (Urbano *et al*, 1992), fenómeno que se ve reflejado en la llegada de la pluma del Dique hasta la zona de los Bancos. Este comportamiento se corroboró con observaciones hechas en campo, además de la influencia que puede causar una pluma que proviene de del Sur que transporta la Contra - Corriente del Darien y que toma fuerza cuando la influencia de los vientos se hace menor. Esta pluma turbia en ocasiones parece llegar desde la boca del río Sinú. Durante la temporada de vientos el predominio de la circulación es hacia el sur con parches de aguas turbias provenientes del río Magdalena, desde Bocas de Ceniza.

Durante la temporada de vientos, a lo largo de diferentes puntos del Caribe como la Guajira colombiana y algunos puntos en Venezuela ocurren zonas de surgencia (e.g. Corredor, 1979 Fajardo, 1979 Andrade y Barton, 2004). Este proceso puede llegar a extenderse a lo largo de la costa del Caribe, tan al Oeste como hasta los Bancos de Salmedina. Las aguas de surgencia son fácilmente detectables por la disminución de la temperatura superficial del mar acompañadas de altas salinidades superficiales en presencia de fuertes vientos paralelos a la costa; comportamiento que se observó en los datos registrados en este estudio en los Bancos de Salmedina, en enero de 2004 sugiriendo que existe un desarrollo de surgencia determinados por esas características en los meses de mayor influencia de vientos, que en este caso se presentaron desde enero extendiéndose a los primeros días del mes de abril y que explican el aumento en las concentraciones de clorofila *a* durante éstas fechas (Fig. 9).

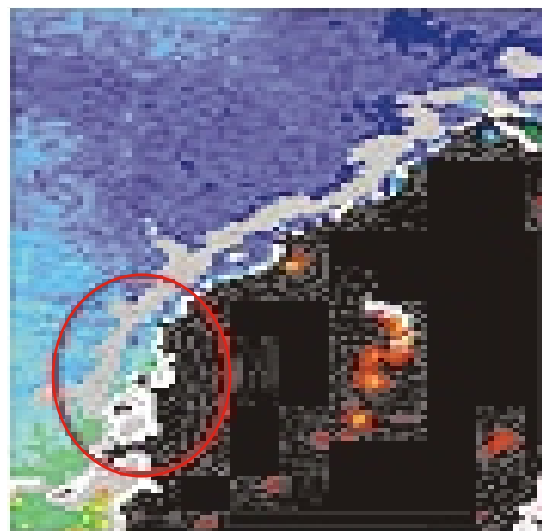


Figura 9. Temperatura superficial del el 04 de marzo de 2004 vista desde el satélite MODIS (SST) tomado de <http://modis.marine.usf.edu>. El color azul muestra aguas más frías y los colores verdes y amarillos más cálidas. La imagen muestra la presencia de aguas más frías cerca de la costa llegando hasta los Bancos de Salmedina.

Así también las medidas de clorofila *a* tuvieron un comportamiento repetitivo a lo largo del año donde se observaron altas y bajas concentraciones oscilando con un espacio temporal de casi dos meses. Las concentraciones elevadas acompañaron los fenómenos descritos para la época seca y la de lluvias. Este comportamiento se repitió en las medidas de turbidez de forma directa y en la transparencia en forma inversa (Fig. 10).

Los pulsos tienen un promedio general de 57 días, oscilación de baja frecuencia de la forma descrita por Madden y Julian, (1971) en la presión atmosférica, y sugiere que para los Bancos de Salmedina existe una oscilación similar en los parámetros oceanográficos superficiales, como fueron encontrados en Santa Marta (Rivera y Molares, 2003). Esta oscilación es la señal mas fuerte de baja frecuencia encontrada en la atmósfera tropical y es una explicación a los eventos de variabilidad interestacional que muestran oscilaciones periódicas similares al comportamiento presentado por la clorofila *a* en este estudio.

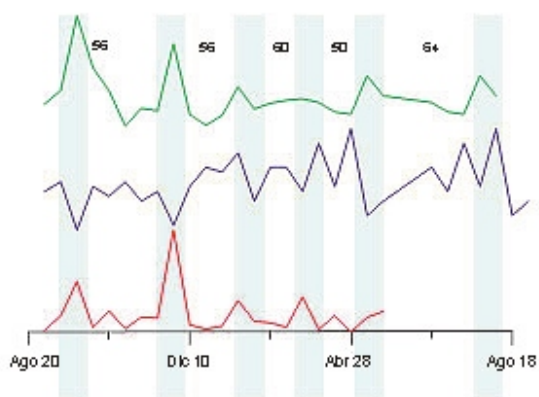


Figura 10. Comportamiento de carácter cíclico para las variables de clorofila *a*, Turbidez y Transparencia durante el año de muestreo. Las columnas sombreadas indican los sitios donde se observaron los “pulsos”,

Conclusiones

Las observaciones oceanográficas efectuadas en los Bancos de Salmedina mostraron que las variaciones en la concentración de clorofila *a* superficial en la zona tienen relación directa al aporte de aguas continentales que llegan a los Bancos en forma de parches y plumas turbias.

El comportamiento general de la temperatura, salinidad, nubosidad e intensidad del viento mostraron una marcada estacionalidad tropical; además la temperatura superficial, acompañadas de altas salinidades y la presencia de fuertes vientos evidenciaron que existió un proceso de surgencia.

Ahora bien el origen de los parches de agua turbia que producen las variaciones en la concentración de clorofila *a* durante la temporada seca es diferente al origen de las producidas en la temporada de lluvias.

Las medidas de clorofila *a*, turbidez y transparencia presentaron una oscilación casi periódica alrededor de 57 días. Esta oscilación es semejante a la evidenciada por Madden y Julian (1971) en la atmósfera, lo que sugiere un efecto acoplado Océano Atmósfera muy dominante en el agua superficial en los Bancos.

Reconocimientos

Los autores agradecen al personal del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), Señalización Marítima, Estación de Guardacostas de Cartagena. Al señor José Ladeut por su diestra mano en el timón al bote. A Efraín Rodríguez Rubio y al Capitán de Corbeta Germán Leonardo Acevedo por sus comentarios en el desarrollo de este artículo. Este estudio hace

parte del proyecto “Estudio Oceanográfico Integral de los Bancos de Salmedina, Caribe Colombiano” financiado por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS, la Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla” y la Universidad Nacional de Medellín

Referencias bibliográficas

Andrade, C.A. y E.D., BARTON. The Guajira Upwelling System. Continental Shelf. Research (en Revisión). 2004.

Andrade, C.A. The Circulation and Variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Universidad de Gales, 2000.

Andrade, C.A. y E.D., Barton. Eddy development and motion in the Caribbean Sea (Desarrollo y movimiento de remolinos en el mar Caribe). Journal of Geophysical Research. 105 (C11): 26,191-26,201. 2000.

Andrade, C.A., L., Giraldo y S., Lonin. Nota sobre la circulación de las aguas en el Bajo Alicia y el sector de San Andrés Islas. Bol. Cient. CIOH Cartagena. 17: 27-36. 1997.

Arias, F. y J., Duran. Variación anual de fitoplancton en la Bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH. No. 5: 61-116. 1984.

ARMADA NACIONAL, DIRECCION GENERAL MARITIMA. Manual de técnicas analíticas de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Tercera edición. CCO. Fundación Mamonal, CIOH. Cartagena. 1993.

Corredor, J.E. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment trough upwelling in the Colombian Caribbean basin, Deep Sea Res. 26A, 731-741. 1979

Fajardo, G.E. Surgencia costera en las proximidades de la península colombiana de la

Guajira. Bol. Cient. CIOH, 2,17-19. 1979.

Madden R. A. y P. R., Julian. Detection of a 40 50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J. Atmos. Sci, 28, 1109 1123. 1971.

Márquez, G. Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Bogotá, 1996. 67-100. 1996.

Philips, E. y S., Badylak. Spatial variability in phytoplankton standing crop and composition in a shallow inner-shelf lagoon, Florida Bay. Bull. Mar. Sc. 58(1): 203-216. 1996.

Rivera S. y R., Molares. Evidencias de la oscilación del tipo Madden y Julian en el caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH. No. 21: 101-113. 2003.

Tigreros, P. C. Biodiversidad y valoración bioquímica de fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. UJTL. Facultad de Biología Marina. Trabajo para optar por el título de Biólogo Marino. 2002.

Urbano, J., Y., Thomas, C., Parra y P., Genet. Dinámica de la pluma de turbidez del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena, Colombia. Bol. Cient. CIOH No. 11: 3-14. 1992.

APHA AWWA WPTF. Standard methods of examination of water and waste water. American Publics Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. New York. 1995.

[Http://modis.marine.usf.edu/products/scar/04](http://modis.marine.usf.edu/products/scar/04) marzo 2004.