



## INFLUENCIA DE LA PLUMA DEL RIO MAGDALENA EN EL CARIBE COLOMBIANO

### >> Resumen

MARY LUZ CAÑON PAEZ

EDUARDO SANTAMARÍA  
DEL ÁNGEL

CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
OCEANOGRÁFICAS E  
HIDROGRÁFICAS CIOH  
Cartagena

Se analizaron series de tiempo de concentración de Clorofila *a* y temperatura extractadas de imágenes promedio mensuales de los sensores OCTS, SeaWfis y AVHRR entre los  $-78.5$ :- $74.5$  W y  $13$ - $10$ N. Las isolíneas de concertación de  $0.25$  y  $0.5$   $\text{mg}/\text{m}^3$  y un análisis de componentes principales (ACP) fueron utilizados para delimitar la extensión y dirección de desplazamiento de la pluma del Río Magdalena dentro del Caribe colombiano. Se observó que durante la temporada seca (dic-abril) se presentan desplazamientos más amplios de concentración de Cl-*a* en el Caribe colombiano en forma de una lengua con dirección WNW. En la temporada de lluvias (sep-nov) la dirección del desplazamiento fue

predominantemente hacia el NNW y en los restantes meses (mayo-agosto) se determinaron como el período de transición cuando la dirección de la pluma fue hacia el NNW.

De las series analizadas aproximadamente el 60% registra las mayores concentraciones de Cl-*a* entre noviembre y marzo, 37% valores medios entre Julio a Septiembre y 75% de valores bajos entre Abril y Junio.

Teniendo en cuenta que Colombia ha sido afectada por los eventos niño 97-97 y 02-03 fue posible registrar una baja influencia de estos eventos, sobre la biomasa de productores primeros en el área adyacente a la pluma del Río Magdalena.

### >> Abstract

Temperature and chlorophyll *a* time series were analyzed from monthly mean images from OCTS, SeaWfis and AVHRR between  $-78.5$ :- $74.5$  W y  $13$ - $10$ N. The  $0.25$  and  $0.5$   $\text{mg}/\text{m}^3$  concentration isolines and an analyzed of mean components was used in order to find out the extension and direction of the Magdalena river plume in the Colombian Caribbean. During the dry season (dic-april) the Cl-*a* was observed with high concentration in the Colombian Caribbean as a tongue in W-NW direction. In the rainy season (sept nov) the direction was meanly N-NW but

during the transition period (may-august) the direction of the plume was meanly N-NW.

Approximately 60% of the Cl-*a* analyzed time series shows the higher concentration between November and march, 37% of the medium values was found during July and September, while 75% of the lower concentration values was found during April June.

Bearing in mind that Colombia was affected by El Niño event in 97 and 2002/03, very low influence in the biomass of the primary producers around the Magdalena river plume was found.

CIOH

[www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co)

## >> Introducción

**E**n las zonas costeras se mantienen gran parte de los ecosistemas productivos de planeta, por ser ambientes de enlace que constantemente son enriquecidos por flujos importantes de material particulado, nutrientes y acumulación de material orgánico (Cziron, 2002). A lo largo de las costas, los ríos están directamente ligados con el transporte de estos materiales, que en algunos casos pueden favorecer el mantenimiento de la diversidad marina o en otros casos, generar problemas de contaminación (Salisbury et al., 2001).

Está claramente identificado que concentraciones de nutrientes transportados a la zona fótica a través del afloramiento de aguas asociadas con corrientes de límite oriental o descargas continentales (ríos), son mecanismos de fertilización de las áreas marinas directamente influenciados por estos, registrándose hasta un 50% de las entradas de fósforo total y el 60% del nitrógeno (Raymont, 1980). El drenaje continental ha sido sugerido en algunos casos como el proceso responsable de alta biomasa fitoplanctónica, sin embargo algunos autores (Anderson, 1986; Shuchardt & Schirmer, 1991) sugieren que los máximos de clorofila están asociados a los máximos de turbidez.

Recientes estudios han empezado a monitorear las interacciones entre la aguas costeras y los aportes realizados por el cauce de ríos próximos a éstas. Para varios ríos en India (Bahía de Bengal), Norte (Golfo de México) y Sur América (Venezuela, Argentina, Uruguay) a través de observaciones espaciales, se ha identificado la incidencia de plumas de aguas turbias en áreas marinas, sus desplazamientos estacionales, y sus implicaciones en la biomasa fitoplanctónica marina (Fournier, 1997; Gómez et al., 2000; Muller-karger et al., 1989; Salisbury et al., 2001).

En el Mar Caribe, al este de los 80W Muller-karger et al. (1989), reportó que cerca del 20%

de la descarga anual de los ríos Amazonas y Orinoco, influyen el ambiente oligotrófico característico de este mar. En las costas de Colombia, el Río Magdalena, el más grande y caudaloso del país vierte sus aguas al mar Caribe y aun se desconocen como esos flujos de agua influyen sobre los procesos biológicos y químicos de esta región.

El monitoreo espacio temporal de dichos procesos biológicos tanto a nivel regional como local implica altos costos de operación. Sin embargo desde hace más de dos décadas se ha acudido a nuevas herramientas (satélites) que pueden facilitar la evaluación de parámetros que proveen información acerca del comportamiento de dichos procesos. Es así como series de tiempo de información proporcionada por satélites están siendo usadas para estudiar la influencia espacial y natural de descargas fluviales sobre las zonas costeras (Muller-Karger et al., 1989; Gomez et al., 2000; Salisbury et al., 2001).

Sensores a bordo de diferentes plataformas espaciales como el Coastal Zone Color Scanner (CZCS/NASA); Ocean Color and Temperature Sensor (OCTS/ADEOS); Sea-viewing Wide Field of View Sensor (SeaWiFS/NASA), Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/NASA) en conjunto con información de campo, han sido utilizados como fuente de información, para la modelación de los procesos físicos y biológicos que predominan en el medio marino (Muller-Karger et al., 1989; O'Reilly et al., 1998). El primer sensor utilizado para el monitoreo de la concentración de pigmentos del fitoplancton en los océanos fue el CZCS, radiómetro multiespectral lanzado a bordo del Nimbus 7 en octubre de 1978, tomó información hasta junio de 1986 (Zuria, et al., 1994; Lluch-Cota, 1997; O'Reilly et al., 1998). El sucesor del CZCS a bordo de la misión japonesa ADEOS (Advanced Earth Observing satellite) fue el OCTS, radiómetro de exploración operacional entre 1996 y 1997 (Rodríguez & Giraldo, 2001), este tomó información de la concentración de clorofila a, con resolución espacial de 1 km y temporal de 3 días.

## >> Área de Estudio

Luego fue lanzado el sensor SeaWiFS a bordo del Seastar el 1 de agosto de 1997, este sensor también fue diseñado para tomar información de la concentración de Clorofila a, con resolución temporal de 1 día y espacial de 1.1 Km (O'Reilly et al., 1998).

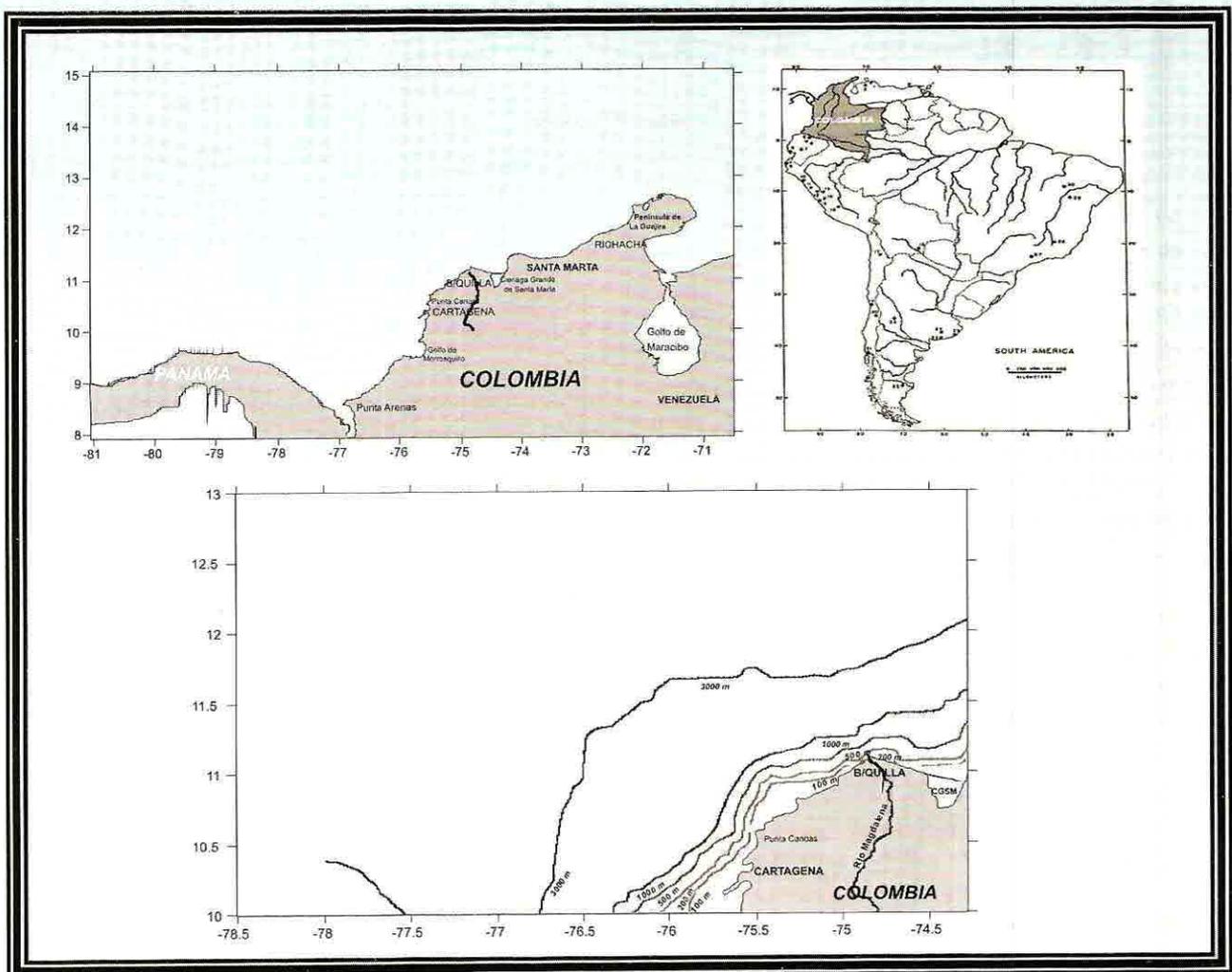
Los satélites también suministran información acerca de cómo los eventos de macroescala como El Niño pueden afectar el régimen climático global. Este fenómeno reduce la productividad del océano a lo largo de la costa oriental del Pacífico desde Perú hasta California (Santamaría et al., 1994; Czitron, 2002). El Niño se manifiesta además por la presencia de temperaturas más elevadas de lo normal, ascensos del nivel del mar, invasión de organismos oceánicos, mortalidad de especies costeras, profundización de la termoclina y nutriclina que impiden el intercambio de nutrientes con la zona fótica (Castillo & Bravo, 1992; Zuria et al., 1995; Poveda, 1994). Colombia ha sido afectado por este fenómeno en los años 72-73; 82-83; 86-87; 91-92; 94-95; 97-98; 02-03 (IDEAM, 2002). En la cuenca del Magdalena (región del mar Caribe colombiano) durante la influencia del Niño los niveles y caudales se registran por debajo de los promedios históricos, observándose reducciones de 26% en la cuenca baja y superiores al 30% en la cuenca media (Montenegro & Pabón, 1992). Este descenso se presenta como consecuencia de la reducción en los volúmenes de precipitación (Martínez 1993; Mesa et al., 1994; Poveda, 1994).

Con base en la información suministrada por el OCTS y SeaWifs, se pretende en este trabajo, describir la variación espacio temporal de la concentración superficial de Clorofila-a generada por el aporte de aguas del Río Magdalena en el mar Caribe colombiano, delimitar la extensión de pluma del río dentro de este mar y en conjunto con información del AVHRR establecer la influencia del Niño sobre la concentración de Clorofila-a y la extensión de la pluma.

El Río Magdalena desemboca en la ciudad de Barranquilla (aprox. en 11.12N y 74.86W), se localiza dentro de la cuenca del Bajo Magdalena ubicada en la región Caribe colombiana en Sur América (Fig. 1). Esta cuenca tiene una precipitación media anual de 1.500 mm por año, que cae principalmente durante los meses de mayo a septiembre, siendo los máximos entre mayo-junio y septiembre-octubre (Mesa et al., 1997).

En la región cercana a la costa predominan los vientos alisios del NE (Andrade, 1993; Mesa et al., 1997). Los vientos superficiales en la región cercana a la desembocadura del Río se caracterizan por presentar velocidades de aproximadamente 3 m/s más fuertes en el periodo de mediados de diciembre a mediados de abril. Cabe mencionar que estos vientos permanecen sostenidos la mayor parte del año (Hanzen and Sawyer, 1999).

El área objeto de este estudio esta influenciada por estas condiciones generales y ubicada dentro de esta cuenca, corresponde a 78.5 74.5 W y 10.-13N. El área de contacto entre el río y el mar se clasifica como un delta con predominio de acciones marinas (Galloway, 1975), asociadas al oleaje (Bernal, 1996; Correa & Restrepo, 2000). El clima de la región está caracterizado por dos estaciones tropicales que comprende la época seca o de vientos entre los meses de noviembre a marzo y una estación de lluvias o húmeda de julio a septiembre, siendo los demás meses del año considerados como épocas de transición entre estas dos (Andrade, 1993; Sterr, 2002).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio en Sur América, país Colombia, departamento del Atlántico, ciudad de Barranquilla, donde desemboca el río Magdalena. Con graficación de veriles de 100, 200, 500, 1000 y 3000 m.

La zona está sometida a la presencia de los vientos alisios que soplan de manera constante de dirección NE durante diciembre a abril, mientras que de mayo a noviembre estos se debilitan y registran variaciones tanto en dirección como en velocidad, en el período de transición (mayo, junio, julio) son suaves excepto en julio (veranillo de San Juan) durante los cuales alcanzan mayores velocidades (Pagliardini, et al., 1982).

La circulación en el área está relacionada con las masas de agua del océano Atlántico; la cual surge como resultado combinado de la corriente del Caribe (CC) y la contracorriente de Panamá-Colombia (CPC). Los vientos alisios son los

generadores de la CC, la cual al acercarse en dirección oeste y chocar con la plataforma de Nicaragua en Centroamérica dobla en dirección Sur hasta que vira bordeando Panamá (Rodríguez & Galvis, 1999; Steer, 2002). A esta altura la CPC, activa en la plataforma colombiana y su presencia depende de la época de año (Andrade, 2000; Arias, 1998).

La batimetría del área deja ver la presencia de un Cañon Submarino ubicado en el eje de la desembocadura del río a sólo 5 Km, con profundidades superiores a los 150 m, junto con una plataforma de amplitud y pendiente fuerte (Fig. 1) (Correa & Restrepo, 2000; Bernal, 1996).

## >> Metodología

La información de concentración de Clorofila-a y temperatura se obtuvo a partir de datos de radiancias de los sensores OCTS, SeaWiFS, y AVHRR, después de aplicarles correcciones atmosféricas y algoritmos específicos (Santamaria, et al., 1994; O'Reilly et al., 1998). Luego se realizaron composiciones mensuales de imágenes (promedios aritméticos de datos válidos) para determinar la variación espacio temporal tanto de Clorofila-a como de temperatura. Los datos procesados comprendieron el período entre enero de 1997 y mayo de 2003.

La resolución espacial de la información proporcionada por el satélite fue de 9 X 9 Km. Se estableció una grilla de 158 estaciones en el área comprendida entre los -78.5 a -78.5°W y los 13 a 10 °N (Fig 2), a partir de las cuales se extrajeron las series de tiempo de temperatura y de concentración de Clorofila-a, de los 74 meses de información disponible.

Cuando la serie de tiempo estuvo interrumpida por la falta de información, causada por la presencia de nubes, se aplicó un método de interpolación lineal simple (en tiempo y espacio), usando el promedio de píxeles más cercanos o en algunos casos el promedio geométrico no aritmético por mes. Con esta información se generó una matriz de datos de la concentración de clorofila a y la temperatura superficial del mar (TSM) por estación y mes. A cada mes de la matriz de datos se les aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP), técnica de ordenación que permite evaluar grandes matrices de registros (múltiples estaciones y variables) consiguiendo como resultado la reducción de las variables en componentes, consignado alta cantidad de información con base a las correlaciones existentes (Jonson & Winchern, 1982; Ramírez, 1998-2002; Santamaria et al., 1994; González, 2001). De esta manera las series de temperatura y color se combinaron con el fin de obtener una variable que explicara la variabilidad de las dos

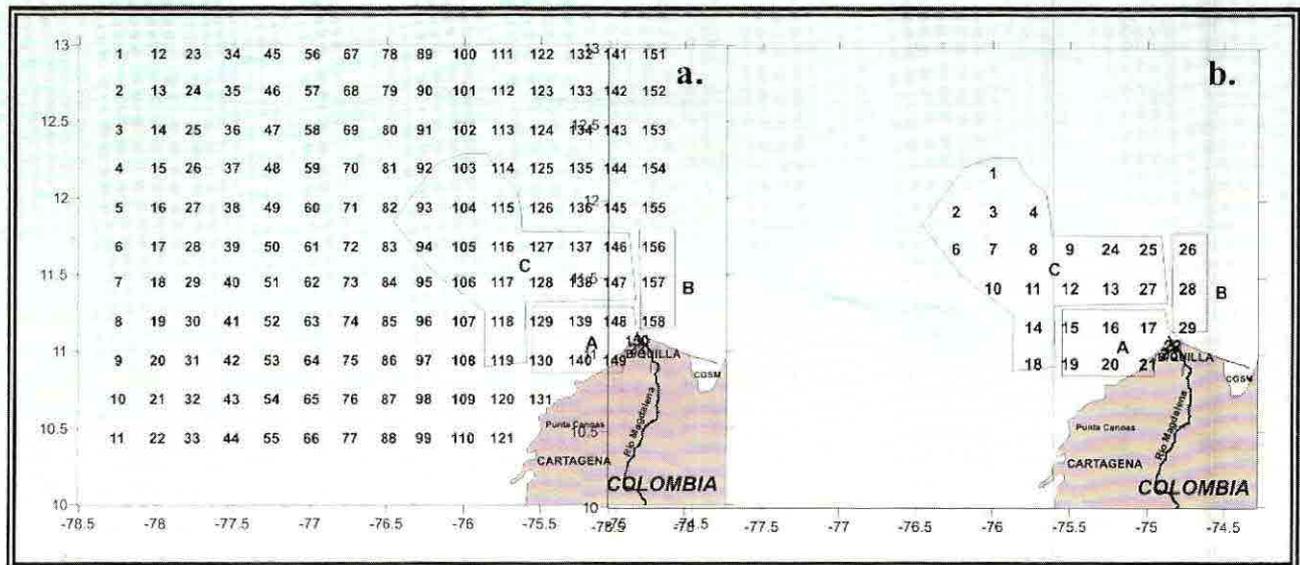
primeras y así obtener la delimitación de la pluma, junto con la identificación mes a mes de su extensión y dirección de desplazamiento.

A 29 estaciones, de las 158 de arriba, de acuerdo a la influencia de diversas condiciones oceanográficas y biológicas de la región (Fig.2) se les calculó el valor de la anomalía de concentración de Clorofila-a, tomando cada valor menos su media dividida por la desviación estándar. Esto se llevó a cabo con el objetivo de tener una estandarización de los datos, para de esta forma poder comparar mejor las diferencias entre épocas y lugares. Luego estas anomalías se clasificaron en bloques, separando los períodos Niño de los no Niño.

Después de identificar los períodos El Niño y no Niño, tomando además datos bibliográficos relacionados (IDEAM, 2002; Mesa *et al.*, 1997; Pérez et al., 1998) se procedió a realizar composiciones de imágenes, para obtener un año promedio El Niño y no Niño tanto de temperatura como de concentración de Clorofila-a. Esto se llevó a cabo con el fin de identificar la respuesta de estas dos variables en el área, bajo la influencia de este evento.

Para cada estación, de las 29 arriba mencionadas, se contaron las anomalías negativas de concentración de Clorofila-a que se presentaron en los períodos con el Niño (A), y los períodos no Niño (B). Posteriormente se procedió a calcular el Índice de Potencia Relativa (IPR) para tener una medida estadística del efecto de El Niño sobre éstas, así:  $IPR = 1 - (Br_1 / Ar_2)$ .

Donde  $r_1$  es el número de meses afectados con el niño y  $r_2$  es el número de meses sin el Niño. Este índice genera una medida de asociación de las anomalías negativas con la presencia del Niño, variando entre valores negativos a 1.0 positivo. Así los valores negativos indican que las anomalías negativas están asociadas principalmente con condiciones no Niño, cero, que las anomalías negativas asociadas con el Niño y no Niño son iguales y uno, que todas las anomalías negativas están asociadas con condiciones de El Niño (Santamaría et al., 1994; Zuria et al., 1995)



**Figura 2.** Grilla de estaciones en el área de influencia de la Pluma del Río Magdalena para el análisis de componentes principales y estaciones (a) y grilla para cálculo de anomalías de concentración de pigmentos y TSM (b) en la desembocadura del Río Magdalena (A); influenciadas por la Ciénaga Grande Santa Marta y el afloramiento del Parque Nacional Natural Tayrona (B) (Bula Meyer, 1984) y alejadas de la desembocadura con influencia Oceánica (C).

## >> Resultados

### Análisis series de tiempo

En el área en general se reportaron concentraciones de clorofila a altas (superiores a  $2 \text{ mg/m}^3$ ) en las regiones cercanas a la costa, próximas a la desembocadura del río y durante la temporada seca (diciembre-abril), estas concentraciones se vieron notablemente disminuidas a medida que se desplazaron hacia el sector oceánico, alcanzando valores del orden de las centésimas de miligramo/ $\text{m}^3$ . La distribución de picos máximos, mínimos y medios de concentración de clorofila-a se observa a lo largo de las series de acuerdo con la temporada climática predominante en la región. Así para la época seca (diciembre-abril) se registran los picos más altos (hasta  $14.5 \text{ mg/m}^3$ ), para la temporada de lluvias (julio-septiembre) los picos medios (hasta  $5 \text{ mg/m}^3$ ) y para la temporada de transición (mayo-junio) los picos mínimos (menores a  $2 \text{ mg/m}^3$ ). De esta forma se establece cierta estacionalidad de la concertación de Clorofila-a. Así mismo para la temperatura se observaron los valores mas bajos

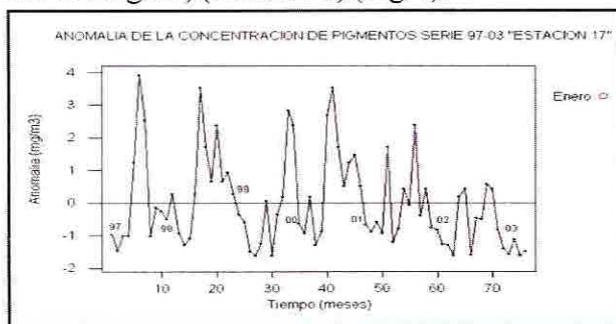
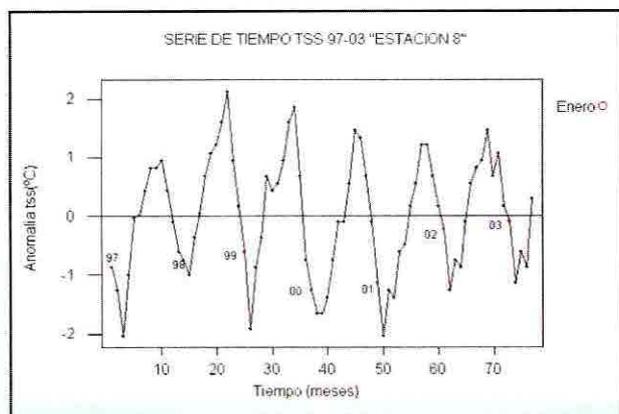
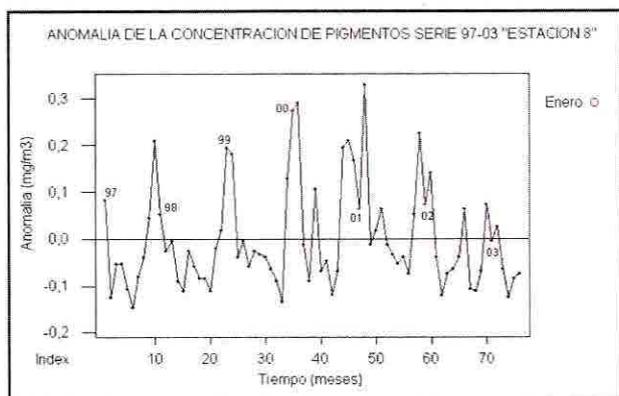
para el período diciembre-abril ( $25-26^\circ\text{C}$ ), los medios para mayo-julio ( $27^\circ\text{C}$ ), noviembre y los máximos para agosto-octubre (superiores a  $28.5^\circ\text{C}$ ).

Las primeras diez estaciones, de las 29 seleccionadas para cálculo de las anomalías, se caracterizan por presentar las anomalías de concentración de Clorofila-a mas bajas de todas las estaciones ( $-0.1$  a  $0.4 \text{ mg/m}^3$ ), con concentración de Clorofila-a entre  $0.0881-0.5495 \text{ mg/m}^3$  aprox. El comportamiento en las series de estas 10 estaciones es similar, observándose de noviembre a abril las mayores concentraciones de Clorofila-a ( $0.2369-0.5495 \text{ mg/m}^3$ ), de julio a octubre ( $0.0881-0.1585 \text{ mg/m}^3$ ) los valores más bajos y de mayo a junio ( $0.1641-0.2163 \text{ mg/m}^3$ ) las concentraciones medias (Fig. 3).

En cuanto a la TSM las anomalías positivas predominan para el segundo período del año. En el año 98 estas anomalías positivas se observan

desde abril, mientras que de enero a marzo, se registran las anomalías negativas más bajas (hasta  $-1^{\circ}\text{C}$ ). Septiembre del año 99 registra el valor más alto de la anomalía de temperatura en toda la serie ( $2.9^{\circ}\text{C}$ ) y el valor más bajo de la serie se observa durante el mes de febrero del 97, 99 y 01 ( $-2.14^{\circ}\text{C}$ ), contrario al comportamiento de la concentración de Clorofila-a. De junio 02 a mayo 03 se reportan valores de anomalías más altos que el año anterior (01). De toda la serie los años 1997 a 1999 presentan anomalías positivas más altas que los años 2000 a 2003. Igualmente se observa que la temperatura aumenta de febrero o marzo a septiembre, mes en el cual disminuye hasta febrero o marzo, del año siguiente. De junio a agosto se presenta ascensos y descensos pequeños que diferencia el comportamiento en la serie de estos meses con respecto a los demás, mostrando la transición entre la temporada seca y la de lluvias.

De la estación 11 a la 19, las mayores concentraciones de Clorofila-a se observan de diciembre a abril (aprox.  $0.35$  a  $1.02\text{ mg/m}^3$ ), las más bajas de junio a septiembre (aprox.  $0.09$  a  $0.18\text{ mg/m}^3$ ) y los valores intermedios en octubre, mayo-junio (aprox.  $0.19$  a  $0.33\text{ mg/m}^3$ ). Enero y febrero predominan dentro de los valores altos de concentración de Clorofila-a, noviembre a diferencia de las primeras 10 estaciones registran menor número de concentraciones de Clorofila-a altas. Las estaciones 13 y 17 presentan un comportamiento diferente con respecto a las otras 7 (de la 11-19). La estación 13 por ejemplo, reporta valores altos ( $0.6$  a  $3.4\text{ mg/m}^3$ ) de noviembre a marzo y junio, bajos únicamente en abril ( $0.7\text{ mg/m}^3$ ) e intermedios de julio a octubre y mayo ( $0.37$  a  $0.63\text{ mg/m}^3$ ). El aumento de las anomalías registradas para la concentración de Clorofila-a puede atribuirse por la cercanía de estas estaciones a la desembocadura del río, al afloramiento de la región del Cabo de la Aguja y al aporte de nutrientes de la Ciénaga Grande de Santa Marta. La estación 17, de la 11 a la 19 es la más próxima a la desembocadura y registra las concentraciones más altas entre septiembre y diciembre, además de junio y julio ( $2,1135$ - $5,7544\text{ mg/m}^3$ ), las más bajas en enero, marzo y abril ( $0.2163$ - $0.861\text{ mg/m}^3$ ) y valores intermedios en febrero, mayo y agosto ( $0.992$ - $2.0417\text{ mg/m}^3$ ) (Tabla N°1) (Fig. 4).



**Figura 3.** Serie de tiempo 97-03 de anomalías de color y temperatura. Estación 116 del ACP y estación 8 del análisis anomalías de concentración de Clorofila-a y SST.

**Figura 4.** Serie de tiempo 97/03 de anomalías de color y temperatura. Estación 147 del ACP y estación 17 del análisis anomalías de concentración de Clorofila-a y TSM.

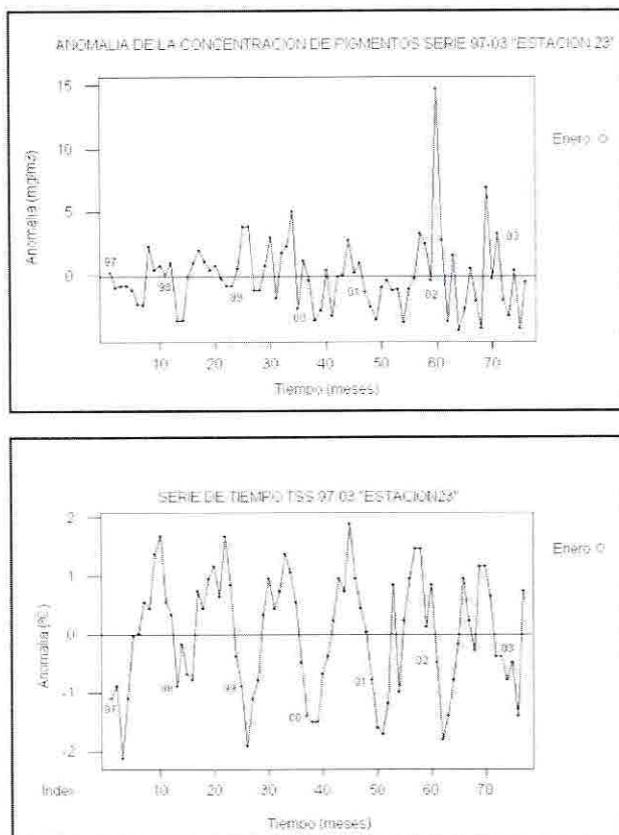
**Tabla N°1.** Estacionalidad de concentraciones, máximas, medias y mínimas con base en el análisis de series de tiempo de pigmentos de 1997-2003 para 28 estaciones ubicadas en la desembocadura del Río Magdalena. RPI (Índice de Potencia Relativa), que permite establecer la asociación de las anomalías negativas con condiciones del Niño o No Niño. RPI negativos asociado a condiciones sin El Niño, RPI iguales a cero asociados con condiciones Niño y No Niño y RPI positivo asociado con condiciones Niño. Los valores en negrilla son las estaciones afectadas por condiciones del Niño.

EST	Máxima	Mínima	Mean	RPI
1	Dic-abr; jun	Jul-Sep	Oct-Nov, may	-0,71929825
2	Dic-feb; Abr, Jun	Ago-Oct	Mar, jul, nov	-0,25641026
3	Dic-Feb; Abr;Jun	Jul-Oct	Mar;may;Nov	-0,63333333
4	Nov-Feb; jun	Ago-sep	Mar-May; oct	-0,42028986
6	Nov-feb; may-jun	Jul-oct	Mar-abr	-0,16666667
7	Nov-mar	Ago-oct	Abr-jul	-0,37878788
8	Nov-mar	Ago-oct	Abr-Jul	-0,45833333
9	Dic-mar	Sep	Abr; ago; Oct-nov	-0,01111111
10	Nov-abr	Jun-Jul; Oct	Ago-Sep; May	-0,12345679
11	Nov-Mar	Ago-sep; may	Jun-Jul; Oct; abr	-0,62318841
12	Nov-Feb	May-Jul; sep	Mar-abr; Jun; ago	-0,26388889
13	Nov-Mar; Jun	Abr	Jul-Oct; May	-0,01111111
14	Dic-Abr	Ago-Oct;Jun	May, jul, Nov	-0,12345679
15	Nov-Abr	Jun-Oct	May	-0,42028986
16	Oct-Abr	Jul-sep	May-Jun	<b>0,1884058</b>
17	Sep-Dic; Jun-Jul	Mar-Abr; ene	Feb. May, ago	<b>0,22222222</b>
18	Dic-abr	Ago-Sep; Jun	Oct-Nov; May Jul	-0,07692308
19	Nov-abr	Jun-oct	May	-0,37878788
20	Dic-abr	Sep-oct;Jul	May-Jun; Ago	<b>0</b>
21	Dic-Abr	May,ago, oct	Jun-Jul; Sep, Nov	-0,22222222
22	Oct-Feb;ago		Mar-Jul;Sep	-0,12
23	Ago-Nov; May-Jun	Dic-Abr	Jul	<b>0,16</b>
24	Dic-Mar; jun, Ago	Abr-May, Sep	Oct-Nov, Jul	-0,07692308
25	Dic-Feb; Oct; Jun-jul,	Abr-May, ago	Mar, sep, nov	-0,31884058
26	Dic-feb, sep	Abr-ago	May-Jul, Oct-Nov	-0,26388889
27	Nov-Dic; Feb, Jun	Abr	Jul-oct; May	-0,45833333
28	Sep-Mar	Abr	May, ago	<b>0,2</b>
29	Ago-Oct; Jun, Dic	Mar-abr, Jul, Nov	Ene-feb, May	<b>0,08452951</b>

En cuanto a la temperatura en este bloque de estaciones (11 a la 19), septiembre de 1998 es el mes que reporta el valor más alto (hasta 30°C). A partir de este mes y durante los siguientes septiembrés de la serie se observa un descenso en las anomalías hasta el 2002 (aprox. 1.5°C), donde nuevamente se reporta un aumento en el valor. Este comportamiento refleja en el área la presencia del fenómeno del Niño durante el período de 1997-1998 y 2002-2003, que coincide con lo reportado por el IDEAM (2002) para la misma área y períodos.

Las estaciones 20 a la 23 están ubicadas en el área de la desembocadura del río aproximadamente al W, NW-N y reciben la influencia directa del aporte o materiales depositados por el río. De la estación 24 a la 29 están ubicadas al NNW de la desembocadura del río. En estas estaciones junio se caracteriza por presentar valores altos de concentración de Clorofila-a hasta 3.67 mg/m<sup>3</sup>. Las mayores concentraciones de clorofila a de todas las series analizadas se observan en estas estaciones, registrándose mayor número de casos con concentraciones superiores a los 3 mg/m<sup>3</sup>. La época seca (diciembre a febrero o marzo) sigue mostrando las mayores concentraciones (2.98 a 4.5 mg/m<sup>3</sup>) de Clorofila-a, las menores en abril o mayo (0.22 a 1.5 mg/m<sup>3</sup>) y valores intermedios de junio a noviembre (1.2 a 2.9 mg/m<sup>3</sup>) (Tabla N°1). Las anomalías positivas oscilan entre 0.5 y 2 mg/m<sup>3</sup> en las estaciones ubicadas al W de la pluma. Las que están ubicadas al NW y frente a la desembocadura ( 22 y 23) alcanzan concentraciones superiores a los 2 mg/m<sup>3</sup> y hasta 5 mg/m<sup>3</sup>. La Estación 23 es la que presenta las anomalías positivas de concentración de Clorofila-a más altos. Febrero 02 en esta estación, genera el valor más alto (14.7192 mg/m<sup>3</sup>) (Fig. 5) en toda la serie seguida de noviembre de este mismo año (6.92mg/m<sup>3</sup>). Las variaciones mas bajas se observan en el período 97-98, presentándose un comportamiento muy parecido a la estación 22, donde las anomalías de los primeros meses, enero a marzo o abril son negativas, con excepción del 2002. Octubre, noviembre - diciembre generan anomalías

positivas, característica relacionada con el aporte de aguas del río durante el período de lluvias. Jun/02 (-4.22mg/m<sup>3</sup>), oct/02 (-4.08 mg/m<sup>3</sup>)y may/03 (-4.03mg/m<sup>3</sup>) registran las anomalías de concentración de Clorofila-a mas bajos en la estación 23, durante estos meses El Niño se hizo presente en la región, y en este comportamiento se ve claramente reflejada su influencia sobre la concentración de Clorofila-a.



**Figura 5.** Serie de tiempo 97-03 de anomalías de color y temperatura. Estación 150 del ACP y estación 23 del análisis anomalías de concentración de Clorofila-a y TSM.

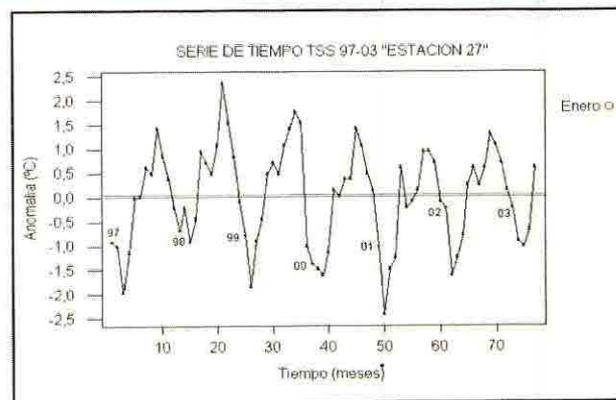
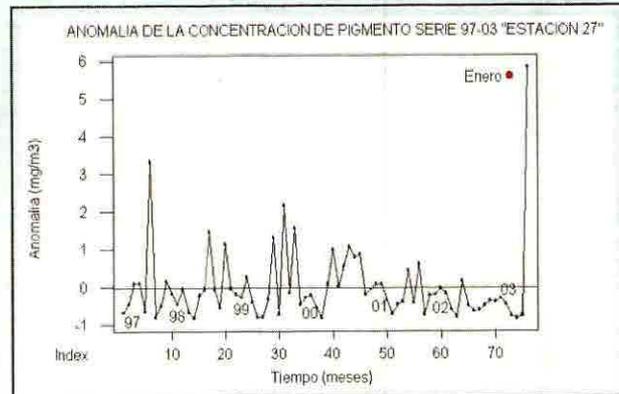
La variación de temperatura de la estación 20 a la 29 cambia notablemente con respecto a todas las estaciones antes analizadas. Septiembre del año 2000 reporta la anomalía positiva más alta de toda la serie. El período 1997-1998 registra anomalías de temperatura altas (-1 a 2°C), con temperaturas entre 26.5°C y 30.2°C, mientras que en el año 1999 las anomalías son realmente bajas (-2 a 1.5°C) con temperaturas entre 25 y 29.5°C. El período 2002 y 2003 reporta

anomalías entre  $-1$  a  $1.5^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el 2000 y 2001 éstas varían entre  $-2$  a  $1^{\circ}\text{C}$ , observándose igualmente temperaturas más altas en el período 2002-2003 con respecto a 2000-2001, comportamiento que de igual forma deja ver la presencia del Niño.

Las estaciones 24 a la 29 presentan anomalías positivas de concentración de clorofila-a altas (Fig.6) (superiores a  $2.5 \text{ mg/m}^3$ ), los primeros meses del año reportan los valores más bajos en éstas series (entre  $-0.8$  y  $-1.2 \text{ mg/m}^3$ ). Abril genera el valor de la anomalía de concentración de Clorofila-a más bajo ( $-0.83 \text{ mg/m}^3$ ) y a partir de éste, se produce un ascenso en las concentraciones, comportamiento que coincide con la entrada de una temporada corta de lluvias en el área y se asocia perfectamente a dicho incremento.

La variación estacional como se mencionó arriba es diferente para las estaciones alejadas de la boca del río y para las que están cercanas a ésta. Se observa así que para las estaciones oceánicas las mayores concentraciones se reportan para el período entre diciembre y abril (época seca), mientras que para las cercanas a la desembocadura de agosto a noviembre (predominio de la época de lluvias).

Así mismo se observa que el valor de anomalías de concentración de Clorofila-a de las estaciones cercanas a la desembocadura del río son mayores (aprox. entre  $-1.5$  a  $5.19 \text{ mg/m}^3$ ) que las de la que están alejadas de esta (aprox entre  $-1.3$  a  $2.97 \text{ mg/m}^3$ ). Octubre, noviembre, diciembre y febrero son los meses que presentan más anomalías positivas en las estaciones próximas a la desembocadura del río. Mientras que en las estaciones alejadas de la boca, son diciembre, enero y febrero los que registran más anomalías positivas con respecto a los demás meses de la serie. De acuerdo a esto se dan a entender mayores fluctuaciones interanuales en las estaciones cercanas a la desembocadura que en las que están alejadas de ésta. También se observa que los valores absolutos de las anomalías negativas son menores que los registrados en las anomalías positivas.



**Figura 6.** Serie de tiempo 97-03 de anomalías de color y temperatura. Estación 147 del ACP y estación 27 del análisis anomalías de concentración de Clorofila-a y TSM.

Para las 29 estaciones analizadas se pudo observar que el número de meses afectados por el Niño fue de 31 con 21 a 23 anomalías negativas, mientras que los meses sin el Niño fueron de 46 con 24 a 27 anomalías negativas. El resultado del RPI reporta que el 75.86% de las estaciones analizadas están asociadas con condiciones No-niño (anomalías negativas), el 3.4% que las anomalías asociadas con el Niño y No-niño son iguales (cero) y que sólo el 17.25% están asociadas con condiciones Niño (anomalías positivas). Los valores del RPI asociados al Niño son bajos (0.08-0.2) (Tabla N°1), indicando que el Niño en las estaciones con estos valores genera anomalías negativas de concentración de Clorofila-a. La respuesta con condiciones de Niño se observó en 4 estaciones (16,23,28,29) ubicadas cerca a la desembocadura del Río.

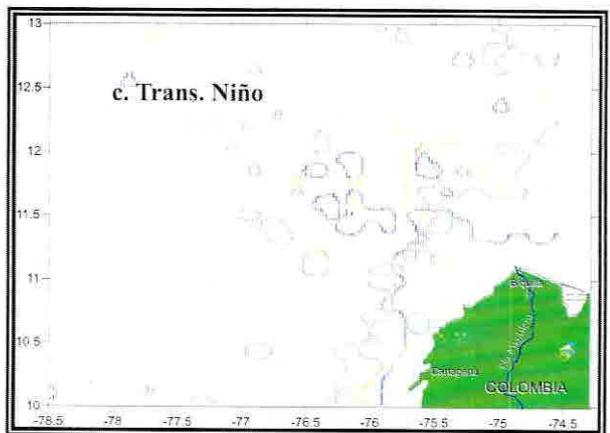
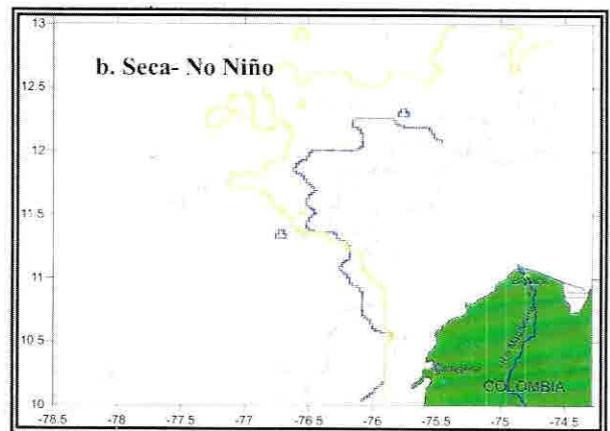
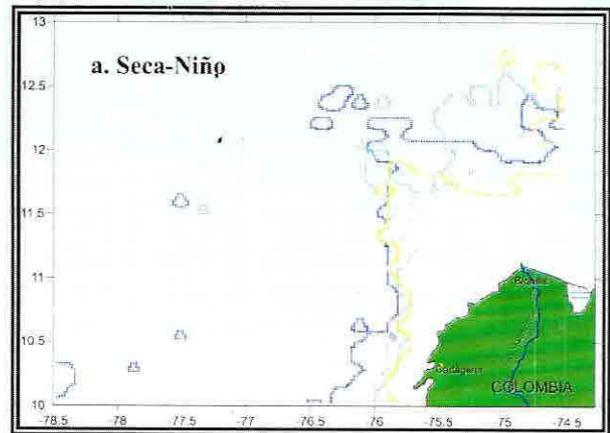
Para definir mejor la influencia del Niño, es preciso emplear otra serie de análisis que tengan en cuenta la meteorología predominante en el sector, de tal forma que se pueda establecer como esta condición responde sobre la variabilidad de la concentración superficial de Clorofila-a.

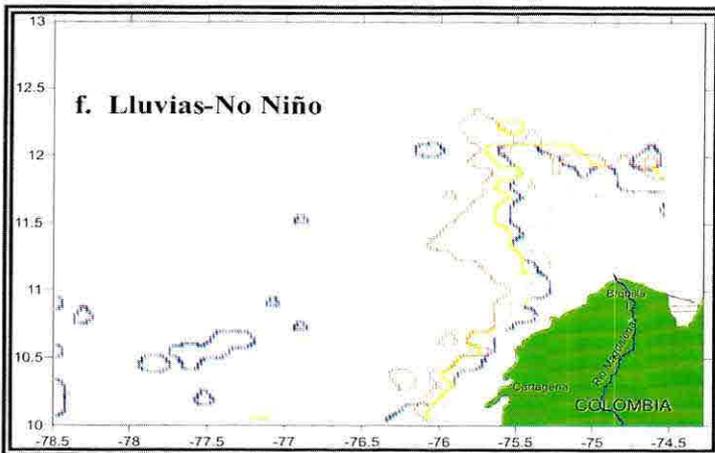
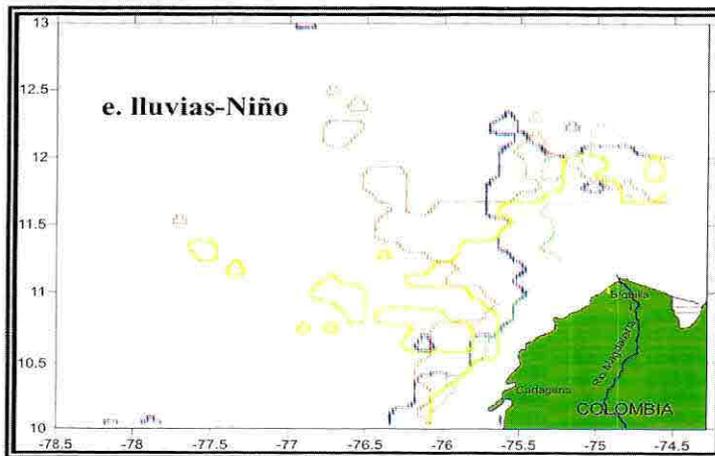
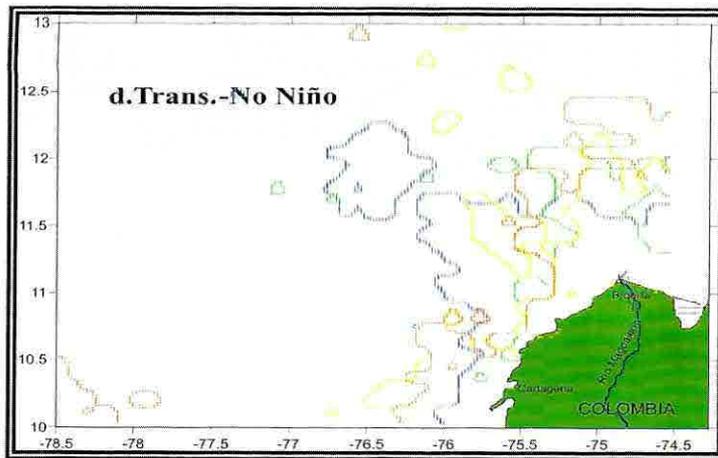
### Delimitación Pluma del Magdalena en el Caribe colombiano

Las isolíneas de  $0.25 \text{ mg/m}^3$  y  $0.5 \text{ mg/m}^3$  se utilizaron para observar el desplazamiento de la pluma y su variación espacio temporal dentro del Caribe colombiano. Durante la época seca (diciembre a abril) la pluma se caracterizó por presentar desplazamiento en forma de una lengua en dirección WNW con predominio de la dirección hacia el W (Fig 7a, 7b).

En la temporada de lluvias (septiembre noviembre), con excepción de noviembre la dirección del desplazamiento fue predominantemente hacia el NNW (Fig 7e, 7f), comportamiento que coincide durante este período con la pérdida de intensidad de los vientos alisios del norte y la entrada en el sector de la CPC, procedente de Centroamérica. En noviembre la dirección varía entre NW y WNW, situación que se explica por el cambio de época (de lluviosa a seca) que se presenta durante este mes.

En los restantes meses (mayo a agosto), la dirección de la pluma es hacia el NNW (Fig. 7c, 7d), dejando ver la influencia de la CPC sobre el área y la menor intensidad de la CC. La dirección de desplazamiento de la pluma del Río Magdalena durante las diferentes épocas (seca, de lluvias y transición) se ajusta a los procesos oceanográficos predominantes en el área durante cada período en particular y caracterizados por Corredor (1979); Garay & Castro (1984); Bula Meyer (1989); Donoso (1992); Blanco (1989), Andrade (2000), entre otros.





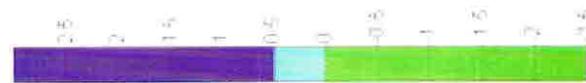
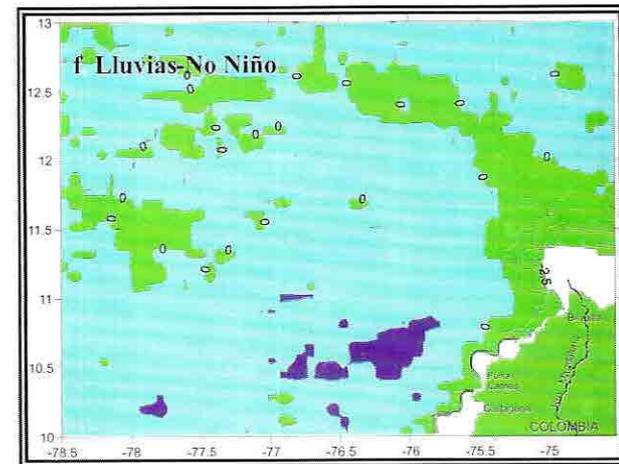
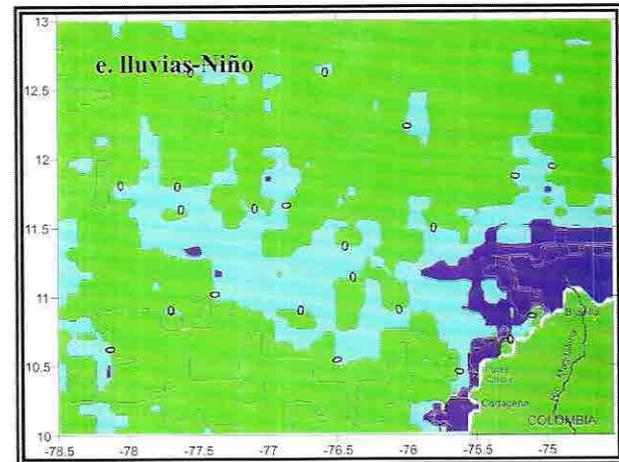
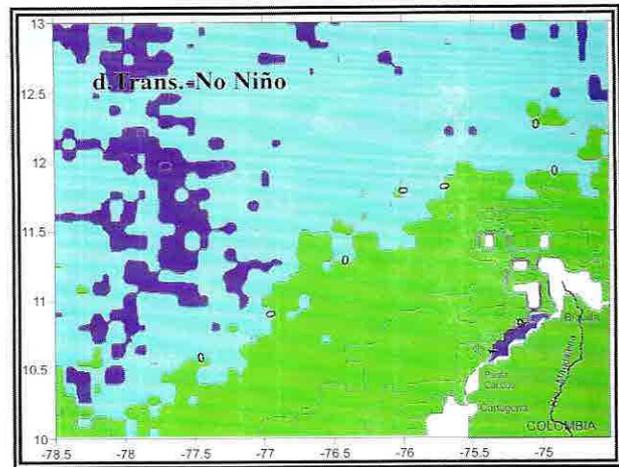
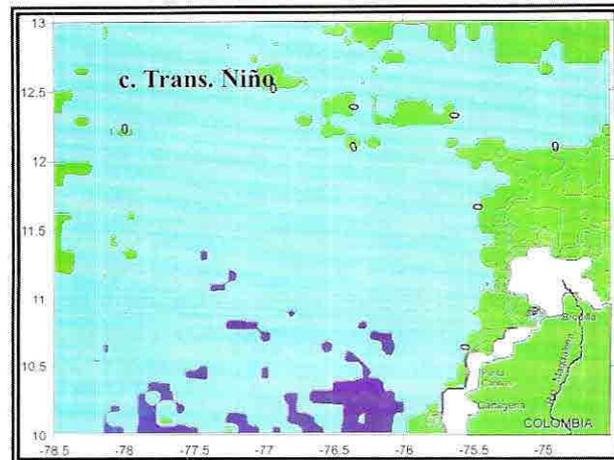
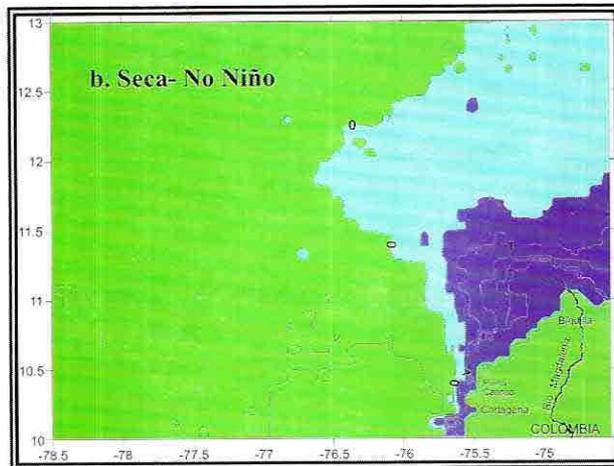
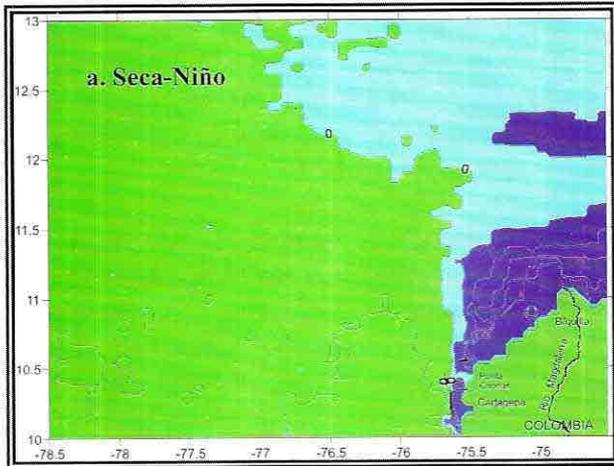
**Figura 7.** Delimitación de la pluma del Río Magdalena, utilizando las isolíneas de  $0.25 \text{ mg/m}^3$  de composición de imágenes de concentración de Clorofila-a, para las épocas seca (a), (b) (diciembre=azul; enero=verde; febrero=amarillo; marzo=rojo), transición (c), (d) (abril=azul; mayo=verde; Junio=amarillo; Julio=rojo) y de lluvias (e), (f) (agosto=azul; septiembre=verde; Octubre=amarillo; noviembre=rojo) separadas en año Niño y No Niño.

El comportamiento de la pluma del Magdalena bajo la influencia del evento Niño presenta pocas variaciones en promedio, mostrando que la influencia del evento sobre la disponibilidad de biomasa fitoplanctónica es débil durante la temporada de lluvias y de transición. Sin embargo, en la temporada seca el desplazamiento de la pluma es menor hacia el sector oceánico, siendo febrero el mes más afectado.

Durante la temporada de transición (abril-julio) del No-Niño, abril registra mayor desplazamiento que durante El Niño, sin embargo durante el mes de mayo afectado por el Niño al frente de Cartagena (Canal del Dique aprox. Entre los  $75.5 \text{ W}$  y  $10.5 \text{ N}$ ) se puede apreciar el aporte de aguas de la otra boca del río sobre las aguas del Caribe colombiano. Durante la temporada de lluvias (fig 7e, 7f) no se observa influencia del evento sobre la región, sin embargo la dirección de la pluma durante octubre y noviembre varía de NW en El Niño a NNW en el No Niño.

Los contornos obtenidos a través del análisis de componentes principales para cada mes y período analizados (el Niño y No Niño) confirman lo expuesto con la delimitación de la pluma mediante el seguimiento de las isolíneas de  $0.25$  y  $0.5 \text{ mg/m}^3$  de concentración de clorofila-a (Fig 8a-8f). En el año No Niño se observan mayor desplazamiento de la pluma en el Caribe que durante el año Niño, junto con la influencia de las aguas procedentes del NE durante la época seca (Fig. 8a, 8b). Durante la época seca en el período El No Niño definen mejor la forma de lengua de la pluma enero, febrero y marzo, alcanzando enero y marzo mayor distancia.

En el período seco afectado por El Niño son diciembre, marzo y enero los que definen la forma de la pluma, mientras que febrero muestra la mayor incidencia de las aguas procedentes del NE.



**Figura 8** Graficación de contornos de la pluma del Río Magdalena, resultado del análisis de componentes principales, con la combinación de imágenes de color y temperatura para un año promedio Niño(a) y periodo promedio No-Niño (b), para la las épocas seca, transición y de lluvias.

En la temporada de transición (Fig 8c, 8d), abril mantiene el desplazamiento y forma de la pluma de la época seca, mientras que de mayo a julio la distribución de las isolíneas es más uniforme dejando ver la influencia sobre las aguas de este río de la corriente del CCD, procedente de Centroamérica. Durante el período No Niño en este sector la distribución de los contornos es más irregular, definiendo junio una forma alargada de la pluma en el sector oceánico, la cual no alcanza mayor distancia.

En la temporada de lluvias (Fig 8e-8f), y aunque la forma de lengua se mantiene, septiembre y octubre definen la pluma en dirección NNE hacia el sector oceánico, consiguiendo mayor desplazamiento durante el período No Niño que durante el Niño. El desplazamiento en estos meses es hacia el NNW como se observa en la delimitación con las isolíneas de  $0.25 \text{ mg/m}^3$  de concentración de Clorofila-a. Agosto con influencia del Niño define muy bien la forma de la pluma, mientras que en el año No Niño, octubre es el mes que presenta la mejor definición de ésta, durante la temporada de lluvias. Septiembre y noviembre en los períodos El Niño y No Niño reportan comportamientos similares de desplazamiento.

## >> Discusión de Resultados

La distribución de concentración de Clorofila-a, deja ver que las aguas del Río transportan materiales que favorecen altas concentraciones de clorofila en la regiones próximas a la boca del río. Estas concentraciones son desplazadas hacia el sector oceánico en diferentes direcciones de acuerdo a las condiciones físicas y meteorológicas predominantes en la región y también sujetas a la época del año. En el área de campo de concentración de Clorofila-a, están escasamente documentados, razón por la cual comparar la información proporcionada por el OCTS y SeaWifs difícilmente se puede llevar a cabo. Sin embargo las series en las estaciones seleccionadas dejan ver las variaciones espacio-temporales de acuerdo con la época del año, la

influencia de aguas afloradas en el Cabo de la Aguja aprox. en la  $11.5\text{N}-73\text{W}$  (Bula Meyer, 1977, Blanco, 1989) en el PNNT y en la Guajira ( $72\text{W}-12\text{N}$ ) (Corredor, 1981; Fajardo 1979; Arias, 1998; Andrade, 2000), a las corrientes, los vientos, los intercambios tierra mar (Zuria et al 1995), y la influencia de sistemas estuarinos como el de la Ciénaga Grande Santa Marta.

A diferencia de regiones como el Golfo de California (México), Chile, Perú, y África, en donde se han caracterizado ampliamente estos sistemas desde el punto de vista productivo (Valdez & Lara, 1987, Cervantes et al., 1993; Santamaria et al., 1994; Álvarez et al., 1997; Nelson et al., 1998; Cole & McGlade, 1998) en Colombia aún no se puede establecer si estos sensores sobreestiman o subestiman los valores registrados en muestreos in situ, o si por el contrario se pueden encontrar buenas correlaciones.

Sin embargo, la información proporcionada por los satélites muestra para esta área una amplia distribución de concentración de Clorofila-a, alcanzando en períodos sin el Niño hasta aproximadamente 350 Km. de distribución en dirección NW. En el caso de las 10 estaciones mas alejadas de la desembocadura durante mayo y junio, se registran ascensos y descensos moderados, coincidiendo con la presencia del veranillo de San Juan (período de transición entre la temporada de invierno y verano) en el área (Bula Meyer, 1984; Blanco, 1989; Andrade, 2000). Este período de transición se caracteriza por la variación de la velocidad y dirección del viento, la permanencia en el área de aguas de la CC, de la CCD y la presencia de lluvias moderadas y tiempo seco, factores que influyen directamente sobre la variación estacional de la concentración de Clorofila-a.

El aumento de las anomalías registradas para la concentración de Clorofila-a en las estaciones 11 a la 19, puede atribuirse a la cercanía de las estaciones a la desembocadura del río, al afloramiento de la región del Cabo de la Aguja y al aporte de nutrientes de la Ciénaga Grande De Santa Marta, características que según Raymont (1980); Anderson (1986) y Shuchardt &

Schirmer(1991), tienen influencia directa sobre la tendencia al aumento de biomasa fitoplanctónica, por el aporte de materiales que estos sistemas realizan en las áreas donde el fitoplancton los pueden aprovechar.

En estas mismas estaciones (11-19) por su ubicación, junto con factores físicos, dinámicos, climáticos y biológicos que sobre estas inciden, se pudo observar que de enero a abril o mayo las series registran anomalías negativas de TSM, que podría explicarse por la influencia sobre el área de la circulación de aguas más frías provenientes del noreste. De julio a noviembre las anomalías son positivas, característica que coincide con la presencia en el área de aguas cálidas transportadas por la CPC del sur hacia el NE. Junio y diciembre reportan valores cercanos a cero, reflejando el período de cambio entre una temporada seca y una de lluvias, comportamiento que coincide con los períodos climáticos predominantes en la región (Gordon, 1967; Fajardo, 1979; Corredor, 1981; Blanco, 1989; Donoso, 1990; Andrade, 1993; Andrade, 2000).

Las estación 20 a la 29, recibe más directamente el aporte de los materiales depositados por el río, de las masas de aguas más frías procedentes de los afloramientos de la Guajira (72W-12N) y El Cabo de la Aguja en el PNNT (11.25N-73.5W) (Fajardo, 1979; Bula-Meyer, 1984; Corredor, 198); Andrade, 2002) especialmente durante los primeros meses del año, cuando estos eventos alcanzan mayor intensidad y del sistema estuario más grande del País, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Por lo tanto al estar afectadas por los afloramientos del NE, por la Ciénaga Grande y por el aporte de aguas del río, la concentración de Clorofila-a es notablemente mayor en estas estaciones con respecto a las 20 primeras, ya que se conjugan los mecanismos documentados por diferentes autores (Raymont, 1980; Santamaria et al., 1996; Salisbury et al., 2001; Odum, 1999) para favorecer altas concentraciones de biomasa fitoplanctónica. Anderson (1986) y Shuchardt & Schirmer (1991), también afirman que esta alta biomasa fitoplanctónica puede estar asociada al aporte de masas de aguas continentales y los máximos de turbidez registrados en la zona.

Contrario a las series de temperatura, las series de anomalías de concentración Clorofila-a, no muestra un patrón claro que permitan determinar si se presenta variabilidad interanual de este parámetro frente aun año Niño y un No Niño. Se reportan anomalías positivas y negativas para cada año, y estación, predominando incluso más picos positivos altos asociados con condiciones No Niño (Santamaría, et al., 1994). Según estos autores la no claridad del patrón puede obedecer posiblemente al corto período analizado (5 años), o simplemente a que los períodos Niño y No Niño en el área no dominan la variabilidad interanual de la concentración superficial de pigmentos.

Las anomalías positivas registradas durante la época seca y octubre en las estaciones próximas a la desembocadura del río dejan ver que durante el mes de octubre el aumento del caudal del río se refleja en mayor concentración de clorofila-a, mientras durante la época seca el comportamiento podría atribuirse a la mezcla de las masa de agua y el desplazamiento de éstas por los vientos alisios, que durante este período del año alcanza su mayor intensidad. De acuerdo con Yentsch (1981) la distribución del fitoplancton puede deberse a una combinación de factores físicos, químicos y biológicos que lo afectan, como movimientos de masas de agua, mezcla por vientos, fenómenos asociados a las mareas, entre otros.

Las bajas concentraciones de Clorofila en la época de lluvias (agosto-noviembre) y en el período de transición (mayo-julio) puede estar relacionado con el ingreso en el área de la corriente del Darien, la cual desplaza por la costas colombianas en dirección Noreste, masas de agua con temperaturas más altas que las transportadas por la CC (Rodríguez, & Galviz (1999); Andrade, 2000). Dichas masas de agua al tener temperatura más elevadas provocan una profundización de la termoclina impidiendo durante este período del año los intercambios de nutrientes necesarios para el florecimientos del fitoplancton (Zuria et al., 1998).

De los períodos Niño encontrados, las anomalías negativas registradas son mayores que las positivas, mientras que para el período No Niño estas se reportan para más de la mitad de los meses. De esta manera el IPR indica que el Niño tuvo influencia sobre 4 estaciones ubicadas en las proximidades de la desembocadura del río. Sin embargo este índice no cuantifica el efecto del evento sobre la distribución de la concentración de Clorofila-a (Santamaria et al., 1994; Zuria et al., 1995). De acuerdo con estos autores, el Niño puede no ser el único factor que cause la variación de esta variable sobre la región. Eventos que disminuyan la mezcla de las aguas superficiales, y subsuperficiales, procesos que modifiquen el desplazamiento de masas de agua, vientos, aportes de masas de agua, influencia de aguas de afloramiento, turbidez, cobertura de nubes, entre otros deben ser considerados para determinar la variación estacional e interanual de la concentración de Clorofila-a en esta región.

El desplazamiento de la pluma del Río Magdalena en el Caribe colombiano está sujeto a la dinámica oceanográfica y meteorológica que dominan la región. Así durante la época seca el desplazamiento en dirección hacia el NW coincide con la presencia en el área de la CC proveniente del subtropico e impulsada por los vientos alisios del norte (Corredor, 1979; Donoso, 1992; Bula Meyer, 1989; Andrade, 2000). Los vientos alisios durante esta época alcanzan también su mayor intensidad, generando las surgencias registradas en la costa de América del Sur en las proximidades de la costa colombiana de la Guajira (Corredor, 1981; Andrade, 1993).

En la temporada de lluvias la dirección predominante de la pluma hacia el NNW puede obedecer a la presencia de la CPC (contra corriente Panama-Colombia). Esta corriente se desplaza por la costa colombiana en dirección Noreste, provocando que las aguas subtropicales de la corriente del Caribe se profundicen (Corredor, 1981; Rodríguez, & Galviz, 1999; Andrade, 2002). En esta época los vientos alisios del NE pierden intensidad sobre el área y sumado

aguas cálidas provenientes del sur, son los factores que pueden estar asociados con la reducción de la pluma y su cambio de dirección.

En noviembre se observó un desplazamiento de la pluma en dirección de NW a WNW. Durante este mes los vientos nuevamente empiezan a retomar intensidad, la CC predomina sobre el sector y la CPC alcanza menor desplazamiento, el conjunto de estos factores son los que pueden explicar o asociarse al comportamiento observado en noviembre.

En los restantes meses (mayo a agosto) identificados como período de transición dentro del área de estudio (Garay & Castro, 1984; Blanco, 1989; Bula Meyer, 1989; Andrade, 2000), la dirección de la pluma es predominantemente hacia el NNW, situación que se manifiesta sobre el sector. Durante esta temporada la mayor incidencia es de la CPC que del corriente caribe.

Durante la temporada seca (diciembre-abril) la pluma alcanza mayor distancia que durante la época de lluvias (septiembre-noviembre) donde se supone que la descarga es mayor. Este comportamiento podría explicarse por el aumento del caudal registrado durante el período 98, que estuvo por encima del promedio multianual. El viento es otro factor que durante esta temporada en el sector, puede favorecer mayores desplazamientos de las masas de agua que durante la temporada de lluvias. En la época de transición, donde se presentan variaciones no muy fuertes ni débiles de los vientos alisios del norte, la pluma se reduce en extensión.

La reducción de la pluma durante el período Niño frente al período No Niño puede estar relacionado con el descenso en los volúmenes de precipitación en la región Caribe colombiana que estuvo en cerca del 20% durante el tiempo de permanencia del evento (IDEAM, 2002), característica que estuvo directamente relacionada con la presencia de nubosidad que no fue de tipo convectivo (nubes del tipo estratos), aumento en los niveles de radiación solar (por disminución de la humedad y nubosidad), brillo solar y ultravioleta,

generando el predominio del tiempo seco en el área durante este periodo (IDEAM, 2002; Mesa et al., 1997). Así mismo en la cuenca del Magdalena durante la influencia del Niño, los niveles y caudales se registran por debajo de los promedios históricos, observándose reducciones hasta del 26% en la cuenca baja y superiores al 30% en la cuenca media ( Montenegro & Pabón, 1992; Peixot & Oort, 1992).

### >>Conclusiones

Más del 50% de los meses afectados por el Niño presentan menor cantidad de valores extremos que los del No-Niño. En enero se observa que la mediana del periodo Niño es mayor que el No Niño. Febrero, abril y mayo presentan el mismo comportamiento, observándose que la distribución de los datos de Clorofila-a durante un año Niño es más homogénea que en el No Niño. Abril del periodo Niño, reporta mayor variabilidad de los datos, manifestada en la mayor cantidad de valores extremos, junto con un menor desplazamiento de Clorofila-a en el sector oceánico. Este comportamiento de abril puede estar relacionado con el aumento de la temperatura, produciendo disminución de la concentración de Clorofila-a e impidiendo su desarrollo, razón por la cual no se registran picos significativos que generen valores más altos con respecto al periodo normal.

Las aguas del Río Magdalena en el Caribe colombiano son una fuente importante de aporte de nutrientes y materia que favorecen altas concentraciones de clorofila especialmente en el área próxima a la desembocadura. Esta concentración de clorofila es transportada hacia el sector oceánico en forma de una lengua y se observa notablemente disminuida a medida que se aleja de la boca por la dinámica oceanográfica (corrientes), siendo la época seca, el periodo en que alcanza mayor desplazamiento en dirección NW. Para determinar que tan productivo es el sistema es necesario generar modelos de productividad orgánica primaria que permitan establecer, si la fuente de nutrientes en este sector junto con otros parámetros físicos (luz, baja

cobertura de nubes, profundidad de la zona fótica, entre otros) la favorecen o no y como es su variación estacional e interanual.

Es necesario tener en cuenta además de fenómenos de macroescala como el Niño, fenómenos de mesoescala, regionales y locales (como transporte de masas de agua, aportes de masas de agua, cobertura de nubes, circulaciones ciclónicas o anticiclónicas, etc) que permitan establecer como cada uno de ellos influye sobre la variación y distribución de biomasa fitoplanctónica en el área, esto con el fin de generar a futuro, modelos de productividad orgánica primaria que permitan establecer si el sistema es capaz de mantener una rica rama trófica.

### >> Bibliografía

ANDRADE, C. 2000. The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Ph.D. Thesis, University of Wales.223 p

ANDRADE C. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. En Boletín Científico CIOH. Cartagena, Colombia. Número 13 . Pp 33-43.

ALVAREZ et al. 1977 . Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. En Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California. Volumen 4(1). Pp 12-22.

ALVAREZ S. 1981. Problemas del método de clorofila Luz para estimar la productividad del fitoplancton en aguas costeras. En Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California. Volumen 7(1). Pp 67-76

ARIAS, F. 1998. Colombia patria de tres mares. ExpoLisboa/98. Condiciones oceanográficas del Caribe colombiano. Ediciones Diego Samper. 240p.

BERNAL G. 1996. Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. En *Anales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR*. Santa Marta, Colombia. N° 25. pp 25-48.

BULA G. 1977. Algas Marinas Bénticas indicadoras de un área afectada por aguas de surgencia frente a la costa Caribe de Colombia. En *Anales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR*. Santa Marta, Colombia. N° 9. pp 45-71.

BULA G. 1989. Altas temperaturas estacionales del agua como condición disturbadora de las macroalgas del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. En *Anales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR*. Santa Marta, Colombia. N° 19. pp 9-22.

CAICEDO I. 1977. Fitoplancton de la Bahía de Neguanje (Parque Nacional Natural Tayrona, Mar Caribe Colombia). En *Anales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR*. Santa Marta, Colombia. N° 9. pp 17-44.

CAVIDES C. 1998. Influencia del ENOS sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur. En *Bolletín de l'Intituid Francais d'estudes andines n° special: "variations climatiques et ressources en eau Amerique du sud: Importante et consecuencias des evenements El Niño"*. Lima, volumen 23 (3). pp 627-641.

CAVIDEZ & WALEY P. 1998. Respuesta del clima de América del Sur a las fases del ENSO. En *Bolletín de l'Intituid Francais d'estudes andines n° special: "variations climatiques et ressources en eau Amerique du sud: Importante et consecuencias des evenements El Niño"*. Lima, volumen 23 (3). pp 627-641.

CERVANTES, Et al. 1993. relación entre la clorofila superficial y clorofila en la zona eufótica del Golfo de California para estimar la

producción primaria con datos obtenidos de sensores remotos. En *Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California*. Volumen 19(4). Pp 473-490.

COLE, J. & MGGLADE, J. 1998. Temporal and spatial patterning of sea surface temperature in the northern Benguela upwelling system: possible environmental indicators of copepod production. In: *Benguela Dynamics: impacts of variability on shelf-sea environments and their living resources*. N° 19. pp 143-157

CORREA I., & J. RESTREPO. 2000. Geología y Oceanografía del Delta del Río San Juan. Litoral Pacífico. Fondo editorial Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 221 Pág.

CORREDOR, J. 1981. Apuntes sobre la circulación costera en el Caribe colombiano. En *Boletín Científico CIOH* N° 3. Pp 3-8

DONOSO, M.C. 1990. Circulación de las aguas en el Mar Caribe. En: *VII Sem Nac. De Cien. Y Tecn. Del mar*. Santa Marta- Colombia. Pp 345-356.

FAJARDO, G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la Península Colombiana de la Guajira. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena. En *Boletín C.I.O.H*, N° 2. Pp 7-9.

GAXIOLA & ALVAREZ. 1986. Productividad primaria del Pacífico mexicano. En *Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California*. Volumen 12 (3). Pp 26-33.

GOMEZ H, J. GOES, & T. SAINO. 2000. Influence of physical processes and freshwater discharge on the seasonality of phytoplankton regime in the Bay of Bengal

HANZEN and SAWYER. 1999. Estudio de factibilidad para el tratamiento de aguas residuales de Cartagena y para la disposición del efluente al mar adyacente. Aguas de Cartagena. Banco Mundial

MESA, O., G. POVEDA, and L. CARVAJAL. 1997. Introducción al Clima de Colombia, Universidad nacional de Colombia. 390 p

MOLINA, A. 1999. Características estratigráficas y morfodinámicas de la franja litoral Caribe colombiano "Sector Barraquilla-Bacas de ceniza Flecha de Galerazamba. En Boletín Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR. Santa Marta, Colombia. N° 28. pp 61-91

PAGLIARDI, J. 1982. Síntesis del proyecto Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH separata 5. Cartagena, Colombia. Número 4. Pp 49-110

PEREZ et al. 1998. Evidencias del cambio climático en Colombia, Tendencias y cambios de fase y amplitud de los cielos, ciclo anual y semianual. En Bolletin de l'Intituid Francais d'estudes andines n° special: "variations climatiques et ressources en eau Amerique du sud: Importante et consecuencias des evenements El Niño". Lima, volumen 23 (3). pp 537-546.

LARA & ALVAREZ. 1975. Producción orgánica primaria en San Quintín. En Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California. Volumen 2 (1). Pp 77-96

LLUCH COTA, S., S. ALVAREZ-BORREGO, SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E. F. MULLER-KARGER and S. HERNANDEZ-VAZQUEZ. 1997. Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes, variación espacio temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. En Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California. Volumen 23 (3). Pp 12-22.

RAMIREZ A & VIÑA G. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Colombia. 292 Pág.

RAMIREZ A & VIÑA G. 1999. Ecología aplicada. Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Colombia. 292 Pág.

RAMIREZ B. 1975. Productividad primaria de las aguas costeras y oceánicas de la zona norte y central de Chile. En Ciencias y Tecnología del mar N°1. Chile. Pp 69-85

RODRIGUEZ, G. A & GALVIS R. 1999. Condiciones Oceanográficas del Caribe colombiano. En: Boletín Científico N° 6 Suplemento Especial "Instituto Nacional De Pesca y Acuicultura". Colombia. Pp 21-34.

RODRIGUEZ, E & A. GIRALDO. 2001. Surgencias oceánicas en el Pacífico Colombiano durante febrero-marzo de 1997: Aproximación oceanográfica utilizando sensores remotos. En: Memorias IX Colacmar San Andrés Islas, Colombia. Pp 25.

SALISBURY, J & J. CAMPELL. 2001. Ocean color and river data revela fluvial influence in costal water. IN: EOS, Transactions, American Geophysical Union. Vol 82 N°20.

SAN JUAN, A, et al 2000. Estudio de proyecto ambiental del proyecto cable submarino de fibra óptica ARCOS-1. CIOH-ISA. Cartagena, Colombia, 200p

SANTAMARIA DEL ANGEL, E., S. ALVAREZ-BORREGO and F. MULLER-KARGER. 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in Costal Zone Color Scanner Imagery. In: J. Geoph. Res. 99: 7423-7370.

SANTAMARIA DEL ANGEL, E., R. MILLAN, A. GONZALEZ, and F. MULLER-KARGER. 2002. The color signature of the Ensenada Front and its seasonal and interannual variability.

SANTAMARIA DEL ANGEL, E., R. MILLAN, A. DE LA PEÑA, G. 1996. Efecto De La Turbidez En La Productividad Primaria En Dos Estaciones En El Area Del Delta Del Rio Colorado. En Ciencias Marinas Universidad Autónoma de Baja California. Volumen 22 (4). Pp 483-493.