

## EVOLUCIÓN DEL EVENTO EL NIÑO 2002-2003 Y EFECTOS SOBRE LA CUENCA DEL PACÍFICO COLOMBIANO Y LA BAHÍA DE TUMACO

Andrea Devis Morales\*

División de Oceanografía, Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP  
 Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia  
 Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 727 11 80  
 e-mail: [cccp@cccp.org.co](mailto:cccp@cccp.org.co)  
[adevis@cccp.org.co](mailto:adevis@cccp.org.co)\*

*Recibido en marzo de 2003; aceptado en junio de 2003*

### RESUMEN

Durante el 2002 y principios de 2003 se monitorearon las condiciones océano-atmosféricas de la región Pacífico Ecuatorial y la cuenca del Pacífico colombiano, CPC, a través de imágenes de satélite, dos cruceros oceanográficos, muestreos oceanográficos quincenales en una estación a 10 MN y observaciones diarias de parámetros meteorológicos y temperatura superficial del mar, TSM, en la bahía de Tumaco. Desde abril de 2002 la TSM a lo largo del océano Pacífico Ecuatorial alcanzó anomalías positivas alrededor de +0.5° C, manteniéndose éstas, por tres meses consecutivos en la región Niño 3.4. Durante marzo-junio los Alisios Ecuatoriales fueron debilitándose gradualmente, mientras que el Índice de Oscilación Sur, IOS, se hizo persistentemente más negativo. Estas características establecieron el desarrollo de El Niño. La temperatura del mar aumentó en el Pacífico Ecuatorial Este, desde fines de septiembre hasta mediados de octubre, encontrándose la termoclina oceánica más profunda de lo normal, con anomalías que sobrepasaron los 2° C. A finales de noviembre, se intensificaron las condiciones El Niño, con TSM máximas por encima de 2.5° C, al Este de la línea de cambio de fecha. En diciembre de 2002 y enero de 2003, aparecieron condiciones anómalas de lluvias en Sudamérica, Norteamérica y Este de África. A finales del primer trimestre de 2003, las condiciones cálidas fueron reemplazadas por aguas superficiales más frías de lo normal en el Pacífico Sudeste, que parecieron indicar el inicio de un evento La Niña, pero que fue seguido por condiciones de normalidad. Los efectos de este evento en la CPC fueron observados desde septiembre de 2002, a partir de indicadores como el aumento del nivel medio del mar (+11 cm), anomalías positivas de temperatura del mar de +0.5° C, profundización de la termoclina en la costa de Tumaco, anomalía en las precipitaciones, la temperatura ambiente y la TSM (+1° C).

**Palabras Claves:** El Niño, Termoclina, Temperatura Superficial del Mar (TSM), Pacífico Ecuatorial, Cuenca del Pacífico Colombiano, Bahía de Tumaco.

### ABSTRACT

During the 2002 and first months of 2003 oceanographic and atmospheric conditions were observed at the Equatorial Pacific and at the Colombian Pacific Basin (CPB), by satellite images, two oceanographic cruises at the CPB, and by monitoring every fifteen days hydrometeorological conditions at a station 10 miles offshore the Tumaco Bay and daily measurements of sea surface temperature (SST) and meteorological parameters at the coast of Tumaco. Since April 2002, the SST along the Equatorial Pacific Ocean reached positive anomalies of 0.5° C, maintaining this for 3 consecutive months at the 3.4 Niño Region. During March-June, the Equatorial Trade Winds gradually weaken, meanwhile the Southern Oscillation Index (SOI) became persistently negative. This features determined the development of an El Niño event. The ocean temperature rose at the East Equatorial Pacific, from September-October, causing a deeper thermocline, and anomalies of 2° C. Late November, the El Niño conditions strengthened, with higher than normal SST values (2.5° C), East of the date line. Between December 2002 and January 2003, anomalous precipitations occurred in South America, North America and East of Africa. By late June 2003, warm conditions were replaced by colder surface waters on the Southeastern Pacific, that caused new predicitions of a La Niña event, but were next followed by neutral conditions. The effects of this event on the CPB have been observed since September, by the sea level rises (+11 cm) and positive SST anomalies (+0.5° C), and since November, by the deepening of the thermocline on the Tumaco Bay, anomalous high precipitations, atmospheric temperature, and SST (+1° C).

**Key words:** El Niño, Thermocline, Sea Surface Temperature (SST), Equatorial Pacific, Pacific Colombian Basin, Tumaco Bay.

## INTRODUCCIÓN

El Niño es un calentamiento del Pacífico Tropical que ocurre de manera irregular cada tres a siete años y dura de trece a 18 meses. Este evento está relacionado con la Oscilación del Sur, que es una variación en las presiones atmosféricas entre la región este de Asia – Australia y el Pacífico Tropical Este.

Durante El Niño, los vientos Alisios se debilitan a lo largo del Ecuador mientras que la presión atmosférica aumenta en el Pacífico Occidental y disminuye en el Pacífico Oriental. El debilitamiento de los vientos Alisios permite que el agua cálida superficial, que normalmente se mantiene confinada en el Oeste, migre hacia el Este. La surgencia costera, producto del viento que sopla paralelo a la costa oeste de América, es fuertemente reducida, causando que la TSM aumente y la rica productividad biológica, que traen consigo las aguas frías de fondo, se ve drásticamente disminuida, afectando ecosistemas marinos y producciones pesqueras de importancia comercial (McPhaden, 2001).

En el Pacífico Oeste ocurren fuertes lluvias y densos cúmulos, sobre las aguas superficiales más cálidas. Cuando estas aguas migran hacia el Este durante El Niño, así también lo hacen las fuertes lluvias. La condensación del vapor de agua libera calor a la tropósfera media y alta, el cual será la fuente de energía que dirige los campos de vientos globales, extendiendo la influencia del evento a las regiones más remotas del planeta. La alteración en los patrones de circulación produce sequías, inundaciones, ondas de calor, menor cantidad de tormentas y otros cambios climáticos extremos con consecuencias económicas y sociales (Meinen & McPhaden, 2000).

El fenómeno contrario, La Niña, se caracteriza por vientos Alisios más intensos y TSM más frías de lo normal en el Pacífico tropical. También presenta presiones atmosféricas superficiales inusualmente más altas en el Pacífico Tropical Este y más bajas en el Pacífico Oeste. Los efectos de este evento son los opuestos a los de El Niño (McPhaden, 2001).

El Índice de Oscilación Sur, IOS, definido como la diferencia normalizada de la presión atmosférica superficial entre Tahití, la Polinesia Francesa y Darwin (Australia) es una medida de la intensidad de los vientos Alisios, que tienen un flujo de regiones de alta a baja presión. Los valores altos del IOS (cuando existen grandes diferencias de presión) son asociados a vientos Alisios más fuertes de lo normal y a condiciones La Niña, mientras que los valores bajos del IOS (pequeñas diferencias de presión) se asocian a vientos Alisios débiles y eventos El Niño. Así, el ciclo El Niño Oscilación Sur, ENOS, es utilizado para describir un rango completo de variabilidad observado en el IOS, que incluye los eventos La Niña y El Niño (McPhaden, 2001).

El término El Niño ha sido utilizado, por muchos años, por los pescadores de Perú para referirse a un evento anual de calentamiento de las aguas costeras, por efecto de una corriente cálida proveniente del Norte, que llegaba siempre en las fechas del

nacimiento del Niño Dios. Pero en algunos años, estas condiciones se intensifican aún más, ocasionando graves pérdidas económicas en las pesquerías y demás sectores socioeconómicos y una gran variación climática, con mucha mayor duración. Actualmente, este término está restringido al calentamiento inusual del océano, que afecta las pesquerías locales, produce muerte masiva de pájaros y otros organismos y trae lluvias torrenciales a la región Pacífico Sudeste ([Philander, 1990](#)).

Durante los últimos 50 años ocurrieron doce episodios cálidos y ocho fríos, cada uno con una intensidad y duración distinta ([McPhaden, 2001](#)); observando que los eventos cálidos se hacen cada vez más frecuentes ([NOAA, 2002-2003b](#)), afectando la costa oeste de Sudamérica, elevando los valores de TSM en la costa y la región oceánica, aumentando el nivel medio del mar (NMM) y profundizando la termoclina. Algunos impactos débiles a moderados han elevado la temperatura pocos grados y sus efectos en las pesquerías han sido menores, pero los eventos El Niño intensos, como los de 1982-1983 y 1997-1998, afectaron fuertemente el clima, la ecología y las actividades socioeconómicas de la región y del mundo.

Para realizar el seguimiento de estos eventos es necesario utilizar imágenes de satélite y validar la información con muestreos *in situ*. Para proveer este monitoreo de las condiciones oceanográficas y atmosféricas la National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA, opera una red de boyas instrumentales (TAO) que miden esas variables en la banda ecuatorial. Estas boyas transmiten diariamente datos que están disponibles en el Climate Prediction Center /NCEP, EE.UU., que emite información periódica sobre eventos ENOS.

Así, por medio de imágenes de la anomalía de TSM, el IOS, la intensidad de los vientos Alisios, la anomalía de precipitación en el Pacífico Ecuatorial, la profundidad de la termoclina en el Pacífico Ecuatorial Oriental y la anomalía del NMM, se puede identificar el inicio de un evento ENOS y darle seguimiento para determinar su intensidad y duración.

El objetivo del presente informe es realizar el seguimiento de la evolución de las condiciones océano-atmosféricas en el Pacífico Ecuatorial durante el 2002-2003 e identificar los efectos del evento El Niño sobre las aguas de la CPC.

## METODOLOGÍA

El seguimiento a las condiciones océano-atmosféricas en el Pacífico Ecuatorial se realizó mensualmente, a través de imágenes de satélite de TSM, vientos superficiales y NMM, con sus respectivas anomalías; además de información del IOS, datos que facilita la [NOAA/NCEP/TAO \(U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration\)](#) y la [IRI \(International Research Institute for Climate Prediction\)](#) en línea vía internet.

Para validar las imágenes de satélite y obtener información *in situ* se realizaron dos cruceros oceanográficos en la CPC, entre los paralelos 01° 30' y 07° 10' de latitud Norte y entre los 77° 40' y 84° de longitud Oeste; además del monitoreo diario de los parámetros meteorológicos en una estación ubicada en la costa de Tumaco, a 01° 51' N y 78° 56' W, muestreos quincenales de las variables meteomarinas en una Estación a 10 Mn de la bahía de Tumaco, sobre el punto 02° 00' N y 78° 51' W y mediciones diarias de TSM y parámetros meteorológicos en la costa (Fig. 7).

En los cruceros oceanográficos se realizaron en febrero - marzo (PACÍFICO XXXVI - ERFEN XXXIV) y septiembre (PACÍFICO XXXVII - ERFEN XXXV) de 2002, en la CPC se midieron parámetros oceanográficos, meteorológicos, biológicos y químicos en 44 estaciones separadas entre ellas 30 y 60 millas náuticas, según zona costera y oceánica, respectivamente.

En el presente estudio se tuvieron en cuenta los parámetros físicos; temperatura, salinidad y presión, los cuales se midieron con un CTD SeaBird Electronics SBE-19 Plus (el cual fue calibrado en marzo de 2002, con una precisión de 0.005 de temperatura y 0.0005 de salinidad), hasta una profundidad de 1000 m aproximadamente, en las estaciones que la profundidad lo permitía.

Durante las salidas quincenales a la estación fija a 10 Mn de la costa de Tumaco se midió la temperatura y salinidad con un CTD SBE-19 Plus hasta los 100 m, además se midió la velocidad y dirección del viento con un anemómetro, y la temperatura ambiente, TA y la TSM con un termómetro de cazoleta.

Las condiciones atmosféricas fueron tomadas de la estación climatológica principal ubicada en las instalaciones del CCCP en Tumaco, con observaciones cada tres horas. La metodología utilizada para la obtención de datos climatológicos se relaciona a métodos estándares regidos por la Organización Meteorológica Mundial, OMM. Asimismo, se midió diariamente el nivel medio del mar a partir de un mareógrafo Leupold & Stevens A-35. Los procedimientos de análisis fueron los determinados por la [Unesco en 1994](#).

## RESULTADOS

A continuación se detalla la evolución de los parámetros atmosféricos y oceánicos, ocurridos en el Pacífico Ecuatorial durante el 2002 y principios del 2003, luego de las condiciones oceanográficas encontradas en la CPC durante los cruceros de investigación y, finalmente, se analizan los efectos sobre las condiciones océano-atmosféricas encontradas en el litoral sur del Pacífico colombiano.

## Condiciones a macroescala

### Atmosféricas:

#### *Vientos en el Pacífico Ecuatorial*

Los vientos de superficie, hacia fines de enero y durante febrero y marzo de 2002, mostraron anomalías en el Pacífico Occidental de +6 m/s a +10 m/s y registraron una inversión asociada a la fuerte actividad de las ondas intraestacionales Madden-Julian (NOAA/NCEP, 2002-2003a), las cuales generaron una onda Kelvin (Fig. 1). En abril se evidenció una disminución de las anomalías de hasta +2.0 m/s.

En la última semana de mayo (CPC/NOAA, 2002-2003a), se experimentó un brusco debilitamiento en el Pacífico Este, en tanto que a lo largo del Pacífico Central se presentaron anomalías negativas de -1.0 m/s a -3.0 m/s, (fuerte fortalecimiento de los vientos del Oeste) consistentes con el resurgimiento de la actividad intraestacional (Oscilaciones Madden & Julian, MJO) en el lado Oeste del Pacífico (Fig. 1).

En junio (Fig. 1) los vientos mostraron un fortalecimiento en el Pacífico Occidental que alcanzó hasta +11.0 m/s de anomalía, en tanto que en el Pacífico Central y Oriental se mantuvieron ligeras anomalías positivas en cuanto a intensidad y con direcciones propias de la estación del año.

Durante julio los vientos de superficie mostraron un fortalecimiento en el Pacífico Occidental que alcanzó hasta 11.0 m/s de anomalía (pero en dirección este); en el Pacífico Central, durante este mes, se generalizó también el debilitamiento de los Alisios registrando anomalías de 3.0 m/s provenientes del suroeste (Fig. 1).

En agosto se presentaron intensidades de hasta 8.0 m/s de anomalía (pero en dirección Este), en el Pacífico Central durante este mes se generalizó también el debilitamiento de los Alisios registrando anomalías de hasta 2.0 m/s en los vientos zonales.

En septiembre mostraron anomalías de hasta 3.0 m/s (en dirección este) en el Pacífico Occidental y Central desde 140° E hasta 140° W. Los vientos Alisios en el Pacífico Sudeste mantuvieron valores muy cercanos al promedio para la época, con ligeras anomalías positivas que fluctuaron entre 0 m/s y 2.0 m/s (Fig. 1).

En octubre se presentaron anomalías de hasta 5.0 m/s provenientes del Oeste en el Pacífico Occidental y Central desde 140° E hasta 160° W, extendiendo esta anomalía con relación al mes anterior. Los Alisios en el Pacífico Sudeste mantuvieron valores muy cercanos al promedio para la época con ligeras anomalías positivas que fluctuaron entre 0 y 1.0 m/s (Fig. 1).

Durante noviembre los vientos de superficie presentaron variabilidad en relación al mes anterior, asociada a la actividad intraestacional. Volvieron a soplar del Sudeste con una disminución notable del Oeste y registraron hasta +2 m/s de anomalía (Fig. 1).

En diciembre se registró una variabilidad casi semanal, debido a la actividad de las ondas intraestacionales y a la persistencia del Anticiclón del Pacífico, con anomalías positivas de hasta +2.0 m/s (Fig. 1).

Durante enero de 2003 los Alisios registraron valores por encima de lo normal, con anomalías de hasta +2 m/s. En febrero registraron una ligera disminución en su intensidad, con anomalías que fluctuaron en la región entre 0 y +1.5 m/s (Fig. 1). Entre marzo y julio de este mismo año se presentaron anomalías positivas en el Pacífico Oeste, mientras que en el resto de la región los vientos presentaron condiciones de normalidad.

### ***Índice de Oscilación Sur (IOS)***

El IOS en enero de 2002 (Fig. 2) mostró una brusca oscilación, cambiando de signo y alcanzando un valor positivo de +0.4; en febrero continuó con esta tendencia hasta alcanzar un valor de +0.9 (NOAA/NCEP, 2002-2003a).

En marzo el IOS cambió su signo alcanzando -0.9, en coherencia con el debilitamiento del Alta Semipermanente del Pacífico, APS; el cual se continuó observado a partir de la segunda quincena de abril, alcanzando -0.5. En mayo el IOS continuó por tercer mes consecutivo presentando valores negativos, alcanzando en esta ocasión -1.2 (Fig. 2).

El IOS se mantuvo el resto del año con sus valores negativos; en junio -0.8, en julio -0.72, en agosto -1.8, en septiembre y octubre -0.8, en noviembre -0.7, en diciembre, por décimo mes consecutivo, registró valores negativos de -1.5.

En enero de 2003 el IOS fue de -0.5, en febrero de -1.3 (Fig. 2), en marzo de -0.5, en abril de -0.3, en mayo de -0.6 y en junio de -1.1, siendo este el decimosexto mes consecutivo con valores negativos. En julio se presentaron índices positivos de +0.2.

### **Oceanográficas:**

#### ***Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Ecuatorial***

La región Niño 4 (Fig. 3), al Oeste del Pacífico Ecuatorial, mantuvo sus anomalías positivas durante todo el 2002 e inicios de 2003, con valores que oscilaron entre +0.27 y +1.47° C, siendo los meses más cálidos octubre, noviembre y diciembre de 2002 (Tabla 1).

La Región Niño 3.4 mantuvo durante todo el año anomalías positivas, excepto en enero -0.3° C, encontrándose los máximos valores en noviembre y diciembre de 2002 (Fig. 3).

La Región Niño 3 presentó anomalías negativas a principios de 2002 y 2003, y positivas el resto de ambos períodos, con valores máximos de  $+1.4^{\circ}$  C en diciembre de 2002 (Tabla 1).

La Región Niño 1+2 osciló entre anomalías positivas y negativas durante el período de estudio (Fig. 3), siendo negativas en enero y cambiando drásticamente a anomalías positivas en febrero de 2002, manteniéndose éstas hasta junio; luego vuelven a hacerse negativas hasta octubre, cuando las anomalías se vuelven a invertir, haciéndose persistentemente positivas hasta fines del 2002.

Durante enero de 2003 se registró una disminución de las anomalías hasta  $-0.13^{\circ}$  C, debido a la persistencia de los vientos Alisios en la costa sudamericana, continuando el incremento de las anomalías negativas durante el primer semestre de 2003 (Tabla 1).

### ***Temperatura Subsuperficial en el Pacífico Ecuatorial y Sudeste***

A nivel subsuperficial, en la región Ecuatorial se observó, en enero 2002, la intensificación del núcleo de aguas cálidas entre  $180^{\circ}$  W y  $130^{\circ}$  W, entre 120 m y 170 m, el cual alcanzó en su centro anomalías de hasta  $+5,0^{\circ}$  C, evidenciando un desplazamiento de las anomalías positivas hacia el borde oriental del Pacífico (Fig. 4), alcanzando para fines de febrero la costa sudamericana (CPPS, 2002-2003).

En febrero en el Pacífico Ecuatorial Oriental se observó la profundización de la termoclina en aproximadamente 40 m. La fuerte perturbación en el campo térmico estuvo asociada al paso de una Onda Kelvin oceánica, propia de la fase inicial de un evento El Niño. Una nueva Onda Kelvin fue generada en la última semana de febrero, como producto de fuertes anomalías en los vientos de bajo nivel en el Pacífico Ecuatorial.

En marzo continuó la extensión de las anomalías cálidas ubicadas a una profundidad de 50 a 150 m, alcanzando cerca de la costa sudamericana hasta  $+3^{\circ}$  C de anomalía. En el Pacífico Ecuatorial Oriental la termoclina se mantuvo durante marzo 40 m bajo su posición promedio (Fig. 4). En abril y mayo continuó la extensión de las anomalías cálidas de hasta  $+3.0^{\circ}$  C, entre 50 y 150 m de profundidad, alrededor de los  $160^{\circ}$  W. En el Pacífico Ecuatorial Oriental la termoclina ascendió ligeramente (CCCP, 2002-2003).

Durante las últimas semanas de junio de 2002 (Fig. 4) se presentaron en forma generalizada anomalías positivas hasta los 200 m de profundidad, con un núcleo de anomalías de  $+4.0^{\circ}$  C, desplazado hacia el occidente en relación a los meses anteriores (CPPS, 2002-2003).

Durante julio se registró una disminución en la intensidad de los núcleos más significativos de  $+4.0^{\circ}$  C a  $+3.0^{\circ}$  C en el borde oriental. Esta disminución estuvo asociada a pulsos oceánicos generados en junio y que son consistentes con las

fluctuaciones térmicas observadas y que caracterizaron la evolución del fenómeno en el Pacífico Ecuatorial.

En agosto (Fig. 4) y septiembre la termoclina en el Pacífico Ecuatorial Central se profundizó 30 m respecto al promedio histórico, en tanto que en el borde de la costa Pacífica de Sudamérica la termoclina se ubicó 12 m por encima del promedio en agosto y en profundidades muy cercanas al promedio en septiembre. Las anomalías subsuperficiales de la temperatura del mar se ubicaron desde la superficie hasta los 250 m en el Pacífico Occidental y Central hasta los 95° W, con valores entre +1.0° C y +3.0° C (CPPS, 2002-2003).

En octubre, noviembre y diciembre (Fig. 4) la termoclina en el Pacífico Ecuatorial Central se mantuvo profundizada 30 m con respecto al promedio histórico, observando la intensificación del calentamiento subsuperficial, con núcleos de anomalías cálidas de hasta +6.0° C, los cuales se extendieron hasta los 90° W. Sin embargo, en diciembre las anomalías térmicas subsuperficiales alcanzaron los 80° W desde la superficie hasta los 250 m de profundidad (CPPS, 2002-2003).

En enero de 2003 la termoclina en el Pacífico Ecuatorial Central se profundizó 18 m con respecto al promedio histórico. Los núcleos de anomalías cálidas se debilitaron, alcanzando anomalías de +3.0° C (Fig. 4). A nivel subsuperficial durante febrero de 2003 la termoclina en el Pacífico Ecuatorial Central se recuperó a la vez que núcleos fríos con anomalías de hasta -3.0° C aparecieron en el Pacífico Oriental, concretamente entre 100° W y 140° W (CPPS, 2002-2003).

Durante marzo todo el Pacífico Ecuatorial presentó anomalías negativas de hasta -2° C, entre los 40 y 100 m en el Pacífico Suroriental y hasta los 300 m en el Pacífico Central (Fig. 4). En abril continuaron las anomalías negativas en el Pacífico Ecuatorial de hasta -1.5° C. Durante mayo y junio se observó la disminución de las anomalías en el Pacífico Ecuatorial Oriental, manteniendo en los primeros 100 m valores de -1° C. En junio la termoclina se mantuvo en promedio 12 m por encima de su valor normal, en tanto que en el Pacífico Central y Occidental se mantuvo profundizada 18 m con respecto a lo normal.

A nivel subsuperficial durante julio de 2003 en el Pacífico Ecuatorial Oriental se observó un núcleo de aguas cálidas entre 130° W y 90° W desde la superficie hasta los 100 m de profundidad, que registró en su parte central una anomalía de hasta +3° C (CPPS, 2002-2003).

### ***Nivel del Mar en el Pacífico Ecuatorial y Sudeste***

El NMM del Pacífico Ecuatorial (Fig. 5) permitió identificar ondas Kelvin (anomalías positivas) causadas por la intensificación de los vientos del Oeste, especialmente desde mayo de 2002. Los valores de las anomalías positivas se hicieron máximos entre septiembre y diciembre (+25 cm), desplazándose hacia las costas de

Sudamérica, elevando los valores al Norte del Ecuador en más de 15 cm y disminuyendo el nivel en la costa Oeste, ocasionando anomalías negativas.

El nivel medio del mar en el Pacífico Sudeste (Tabla 2) se mantuvo alrededor de sus valores promedio hasta septiembre de 2002, aumentando gradualmente hasta diciembre con valores de hasta 10 cm de anomalía positiva. Los valores disminuyeron los primeros meses del 2003.

## **CONDICIONES EN LA CUENCA DEL PACÍFICO COLOMBIANO (CPC)**

### **Cruceros de Evaluación**

Entre el 24 de febrero y el 15 de marzo de 2002 se desarrolló en la CPC, el crucero oceanográfico PACIFICO XXXVI–ERFEN XXXIV. El análisis de los parámetros físicos observados, permitió identificar la presencia de aguas cálidas y de valores bajos de salinidad provenientes del sector oceánico, influenciadas por los cambios en la dirección e intensidad de los vientos, que produjeron una onda Kelvin, la cual generó desplazamientos de aguas superficiales más cálidas de lo normal hacia las costas Suramericanas (Fig. 6).

Durante el crucero oceanográfico PACIFICO XXXVII–ERFEN XXXV, realizado en septiembre de 2002, se presentaron condiciones de normalidad en la mayor parte de la CPC, excepto en la región sudoeste, donde se encontraron núcleos de anomalías de temperatura de +0.5° C, producto de la entrada de aguas cálidas del Pacífico Ecuatorial Central (Fig. 6).

### **Condiciones en el Litoral Sur del Pacífico Colombiano Oceanográficas:**

#### ***Temperatura Superficial del Mar (° C) Bahía de Tumaco***

En la estación costera de la bahía de Tumaco (Fig. 7) se observaron variaciones de la TSM, con anomalías positivas y negativas durante el período 2002 – julio 2003, con anomalías positivas de hasta +0.9 en febrero de 2003.

La TSM en la costa sur del litoral Pacífico colombiano, en la estación a 10 Mn de la costa de Tumaco no presentó mayores variaciones en sus valores, durante el primer trimestre de 2002. Desde septiembre de 2002 se evidenció una variación significativa en la estructura vertical de temperatura, al observarse el hundimiento anormal de la isoterma de 15° C por debajo de los 100 m de profundidad. La etapa madura de El Niño se observó en Tumaco durante el mes de diciembre de 2002, por las anomalías positivas de TSM, así como por la profundización de las isotermas superficiales (Fig. 9).

### ***Nivel Medio del Mar (m) Bahía de Tumaco***

El NMM en la bahía de Tumaco (Fig. 10) presentó anomalías positivas en mayo de 2002 por la aparición de la onda Kelvin, que se había generado desde febrero a causa del fortalecimiento de los vientos del Oeste. A partir de agosto los valores comienzan a aumentar, presentándose, hacia fines de año, anomalías positivas de más de 10 cm. A principios de 2003 los valores presentaron una tendencia a la normalidad disminuyendo hasta alcanzar anomalías negativas, relacionadas con el fortalecimiento de los vientos Alisios.

## **DISCUSIÓN**

Las condiciones oceánicas y meteorológica asociadas con la evolución del evento El Niño 2002-2003 fueron monitoreadas a través de imágenes de satélite en tiempo real de la TSM, el viento y el NMM del Pacífico Ecuatorial, y de las mediciones *in situ* en la CPC y la bahía de Tumaco. Este evento se manifestó en junio de 2002, cuando la TSM en el Pacífico Ecuatorial Central se incrementó 1° C por encima del promedio (Kousky, 2002) y finalizó en mayo de 2003, con un acelerado enfriamiento de las aguas en el Pacífico Sudeste.

Este evento El Niño tuvo su pico de mayor intensidad en el cuarto trimestre de 2002, declinando durante el primer trimestre de 2003. Las condiciones indicaron que este fue un evento de débil a moderada intensidad, siendo menor al de 1997-1998 (Fig. 11).

A finales de 2001 y principios de 2002 ocurrieron episodios anormales en los vientos de Oeste, los cuales se fortalecieron (Fig. 1) produciendo ondas ecuatoriales intraestacionales de Kelvin. En diciembre de 2001 estos vientos produjeron una onda Kelvin que profundizó la termoclina de 20 a 30 m y aumentó la TSM el Este de la línea de cambio de fecha.

Al mismo tiempo, estos vientos produjeron un enfriamiento al Oeste de 160° E, situación que llegó a identificarse como un evento precursor de un fenómeno El Niño, el cual tuvo una corta duración. Estas ondas intraestacionales ocasionaron anomalías en la TSM de +1° C en el sector occidental de la CPC entre febrero y marzo (Fig. 6).

En febrero ocurre otro fortalecimiento de los vientos de Oeste, regresando las condiciones de normalidad hacia principios de abril de 2002. Esto generó una nueva onda Kelvin, que cruzó el océano Pacífico en dos meses y medio, hasta alcanzar las costas de Sudamérica entre finales de abril y mayo (Fig. 1).

Esta onda ocasionó anomalías positivas de la TSM de +1.05° y +0.8° C en la bahía de Tumaco en mayo y junio (Fig. 8). Este incremento produjo efectos climáticos en la región sur de Pacífico colombiano como aumentos en la temperatura ambiente, precipitación y la humedad relativa (Devis, 2002).

En mayo fuertes vientos del Oeste produjeron un calentamiento en la CPC de más de 1° C, con el subsiguiente efecto atmosférico, MJO, en junio, lo cual favoreció el sostenimiento del calentamiento, indicando la evolución de un evento El Niño.

Durante el segundo semestre de 2002 se amplificaron las anomalías oceánicas y atmosféricas; los vientos del Oeste continuaron fortaleciéndose ocasionando la profundización de la termoclina en el Pacífico Este y la elevación de aguas al Oeste de la líneas de cambio de fecha por ondas de Surgencia de Rossby (McPhaden, 2003).

A finales de noviembre, la termoclina estaba 50 m más profunda en el Este y 30 m más somera en el Oeste y las aguas cálidas superficiales estaban localizadas en el Pacífico Central, ocasionado una fuerte actividad convectiva, asociada a la rama descendente de la circulación de Walker.

Este calentamiento fue identificado en la CPC desde el segundo semestre de 2002. En septiembre se pudo observar un calentamiento anormal de la TSM ocupando los primeros 100 m de profundidad en el sector suroccidental de la CPC, con anomalías positivas entre +0.5 y +1° C. Asimismo, en la bahía de Tumaco se presentó una capa isotermal más extensa, ocupando los primeros 30 m, desplazando la isoterma de 15° C por debajo de los 100 m de profundidad (Fig. 9). Posteriormente, a finales de noviembre y diciembre, se presentaron anomalías positivas en la TSM de hasta +1° C y anomalías de NMM de más de 10 cm (Fig. 10), identificándose la etapa madura del evento.

Durante el primer trimestre de 2003 se observó una tendencia hacia la normalización de la TSM en el Pacífico Sudeste y Central Ecuatorial. Este comportamiento fue pronosticado por los modelos de predicción de TSM que anticiparon una progresiva normalización de la condición térmica en el Pacífico Ecuatorial Central hacia mediados de 2003 (NOAA/NCEP/CPC, 2002-2003a). En la bahía de Tumaco se pudo apreciar la fase de declinación del evento El Niño, con descensos en la TSM, NMM y TA, así como en el asomeramiento de la termoclina en más de 15 m, con respecto a los meses anteriores, indicando que las condiciones atmosféricas y oceanográficas tendían a la normalidad.

Con respecto al evento El Niño 1997-1998 se presentaron algunas características similares como la intensificación de los vientos de Oeste, ondas ecuatoriales intraestacionales de Kelvin, TSM más cálida de lo normal al Este de la línea de cambio de fecha y un debilitamiento de la pendiente de la termoclina a lo largo del Ecuador (McPhaden, 1999); pero, a diferencia del evento de 1997-1998 los vientos de Oeste fueron mucho más débiles durante el período 2002-2003, las anomalías de temperatura fueron mayores y la evolución del primer evento inició dos o tres meses antes en el calendario y se desarrolló más rápido.

A partir de la teoría que indica que el exceso en el contenido de calor es un prerequisite para la ocurrencia de eventos Niño (Meinen y McPhaden, 2000), el contenido de calor existente antes del evento 2002-2003 era casi la mitad del

registrado antes del evento Niño 1997-1998 y comparable a los eventos de 1986-1987 y 1991-1992 (McPhaden, 2003).

El comportamiento de la TSM en el Pacífico Ecuatorial sugiere que el evento El Niño 2002-2003 alcanzó su máxima intensidad durante el bimestre noviembre-diciembre de 2002 (anomalía de  $+1.6^{\circ}$  C en la región Niño 3), siendo ésta de débil a moderada intensidad, si se compara con una anomalía superior a  $+3.0^{\circ}$  C en la región Niño 3 que se registró durante la fase de máximo desarrollo del evento El Niño 1997-1998 (Fig. 11).

Este evento en la CPC y la bahía de Tumaco fue mucho más débil que el evento 1997-1998, debido a que no se pudieron identificar anomalías positivas de TSM de más de  $1^{\circ}$  C (Fig. 8) y del nivel del mar mayores a +20 cm (Fig. 10).

Además, los efectos sobre el clima fueron menores. El impacto del primer evento fue más dramático sobre el territorio colombiano; el aumento de las precipitaciones en el litoral sur del Pacífico colombiano ocasionó derrumbes costeros y un aumento en las enfermedades tropicales como la malaria. mientras que en el resto del país hubo sequías extremas que disminuyeron los embalses y las reservas hídricas, generando daños totales a la Nación de aproximadamente 564 millones de dólares (CAF and The Earth Institute of Columbia University. 2002.).

El evento El Niño finalizó en mayo 2003 con rápidos enfriamientos en la superficie del mar en la región Pacífico Sudeste, alcanzando anomalías de  $-1^{\circ}$  C. Estas condiciones ocasionaron que algunos modelos climáticos mundiales pronosticaran el desarrollo de un evento La Niña. Hacia finales del primer semestre de 2003 se observaron condiciones generales de normalidad en el Pacífico Central y TSM  $1^{\circ}$  C por debajo del promedio en la región Pacífico Sudeste. Las últimas observaciones indicaron que lo que parecía un evento La Niña no se desarrollaría en los próximos meses, esperándose condiciones cercanas a la normalidad lo que resta del 2003.

La evolución a escala global en el Pacífico Ecuatorial fue muy asincrónica en relación al de la zona Niño 1+2, lo cual se ha manifestado por lo menos en los últimos 16 meses. Esto hace difícil el pronóstico de eventos anómalos como El Niño, lo que ha ocasionado predicciones anticipadas y posiblemente erradas.

El continuo esfuerzo por entender la evolución de estos eventos permitirá en el futuro describir con la suficiente antelación los efectos que éstos tendrán sobre las regiones afectadas y mitigar sus impactos socioeconómicos negativos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al Capitán de Fragata Carlos Enrique Tejada Vélez y al Capitán de Corbeta Javier Roberto Ortiz Galvis por su apoyo al trabajo realizado, al doctor Affonso da Silveira Mascareñas Jr., al CN ® Carlos Andrade y al Teniente de Navío Rodney Martínez, por sus valiosas y acertadas observaciones en la revisión del presente artículo. Y a los suboficiales S1 Fabián Molina Urueta y S2 Yuber

Alberto Paul Cantor, por su colaboración en el desarrollo de las herramientas necesarias para la realización del análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**CAF and The Earth Institute of Columbia University. 2002.** Briefing on the 2002-2003 El Niño Episode , Washington DC.

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2002-2003.** Boletín de Pronóstico Meteorológico Mensual (enero 2002 – julio 2003). San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia, No. 58 a 76.

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2002a.** Compilación Oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. Serie Publicaciones Especiales. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia, Vol. 1, 107 pp.

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2002b.** Estudio de las Condiciones Oceanográficas y Biológicas en la Cuenca del Pacífico Colombiano – 2002. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia. 97 pp.

**Centro Control Contaminación del Pacífico. 2003.** Aportes al Entendimiento de la Bahía de Tumaco, Entorno Oceanográfico, Costero y de Riesgos. Serie Publicaciones Especiales. Ed. DIMAR. San Andrés de Tumaco, Colombia, Vol. 2, 168 pp.

**Comisión Permanente del Pacífico Sur. 2002-2003.** Boletín Alerta Climática (BAC), enero 2002 -julio 2003. Guayaquil : CPPS, Ecuador, No. 136 a 149.

**Daly, J. 2003.** El Niño Actual.  
[en-línea] URL: <http://www.vision.net.au/~daly/elnino.htm>

**Devis, A. 2002.** Análisis de las Condiciones Oceanográficas y Meteorológicas de la Bahía de Tumaco y su Relación con Eventos de Escala Global. Boletín Científico CCCP. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco: CCCP. No. 9: pp 7-20.

**Glantz, M. 1996.** Corrientes de Cambio: El Impacto de El Niño sobre el Clima y la Sociedad. Cambridge University Press. Primera edición en español, SHOA, 1998. Valparaíso, Chile, 131 pp.

**International Research Institute for Climate Prediction. 2002-2003.** Current ENSO Information, ENSO Update, Climate Outlook, Situación Actual Fenómeno El Niño-Pronósticos climáticos y ENSO Quick Look. Enero 2002 a agosto 2003. IRI. [en-línea] URL: [www.iri.columbia.edu](http://www.iri.columbia.edu)

**Kessler W. and M. McPhaden. 1995.** Forcing of Intraseasonal Kelvin Waves in the Equatorial Pacific. Pacific Marine Environmental Laboratory, NOAA, Seattle, Washington. *J. Geophys. Res.*, 100 (C6), 10,613-10,631 - The American Geophysical Union. 43 pp.

**Kousky, V. 2002.** Climate Diagnostics Bulletin. Junio 2002, No. 02/6, US Dept. Commerce, NOAA., Camp Springs, MD, 2002a. 15

**Lagerloef, G., R. Lukas, F. Bonjean, J. Gunn, G. Mitchum, M. Bourassa and A. Busalacchi. 2003.** El Niño Tropical Pacific Ocean Surface Current and Temperature Evolution in 2002 and Outlook for Early 2003, *Geophys. Res. Lett.*, Rev. 1 enviado el 6 de marzo, 2003.

**McPhaden, M. 1999.** Genesis and Evolution of the 1997-1998 El Niño, *Science*, 283, pp. 950-954.

**McPhaden, M. 2001.** El Niño and La Niña: Causes and Global Consequences. *Enciclopedia of Global Environmental Change*. Vol. 1, pp. 353-370.

**McPhaden, M. 2003.** Evolution of the 2002-2003 El Niño, *UCLA Tropical Meteorology and Climate Newsletter*. No. 57, 10 pp.

**Meinen, C. & M. McPhaden. 2000.** Observations of Warm Water Volumen Changes in the Equatorial Pacific and Their Relationship to El Niño and La Niña. *J. Clim.*, No. 13, pp. 3551-3559.

**NOAA/NCEP/CPC. 2002-2003a.** Boletín de Diagnóstico Climático, enero 2002 a agosto 2003: El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discusión, Climate Prediction Center, NCEP- US Department of Commerce NOAA-NWS-NCEP. [en-línea]  
URL: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)

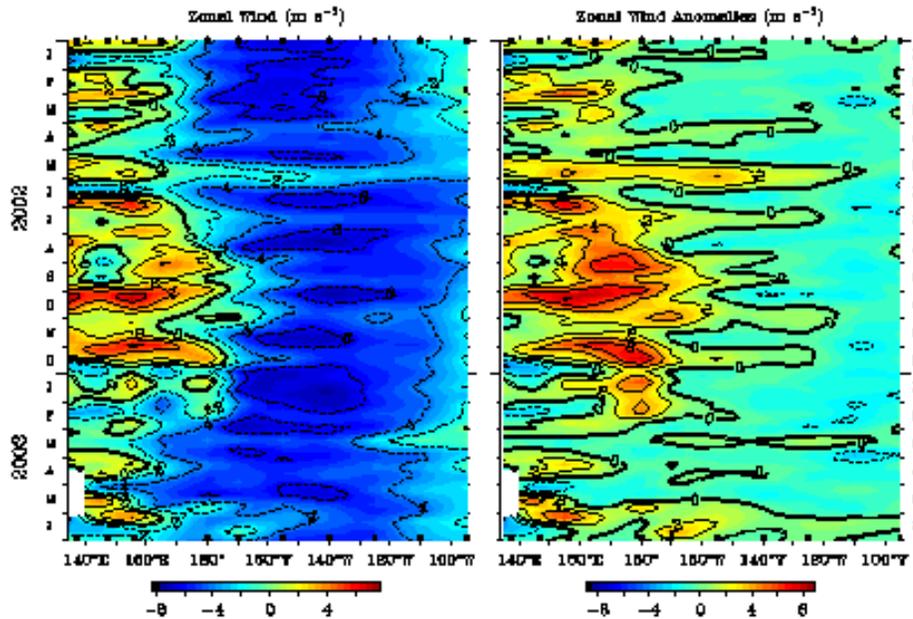
**NOAA. 2002-2003b.** Magazín Noticias de El Niño. [en-línea]  
URL: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> <http://www.pmel.noaa.gov/tao/jsdisplay>

**Philander, S. 1990.** El Niño, La Niña and the Southern Oscillation, Academic Press, San Diego, CA, 293 pp.

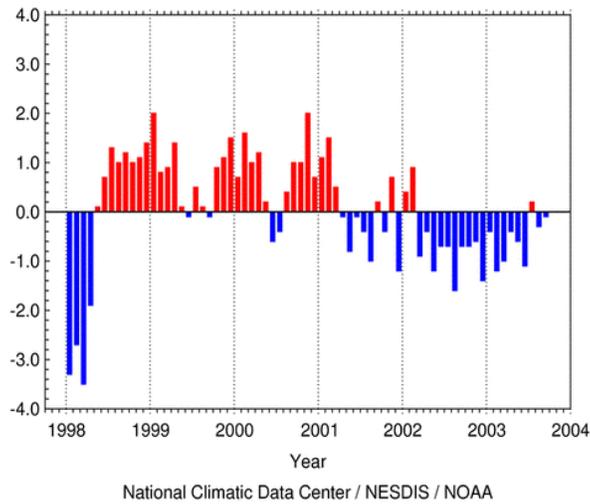
**UNESCO. 1994.** Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Volume II. Emerging Technologies. *IOC Manuals and Guides*, No. 14, 72 pp.

**Universidad de Chile. 2002.** Boletín Climático, Departamento de Geofísica, mayo-diciembre de 2002. [en-línea] URL: <http://met.dgf.uchile.cl/clima/>

FIGURAS Y TABLAS



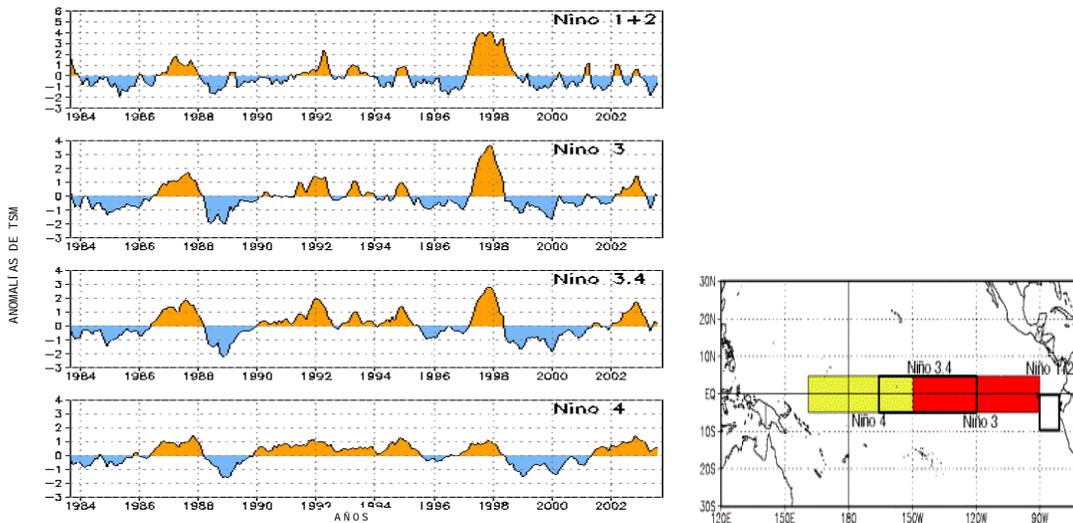
**Figura 1.** Viento zonal Pacífico Ecuatorial, promedio 2° N – 2° S, desde enero de 2002 a junio 2003. Fuente: TAO Project Office/PMEL/NOAA



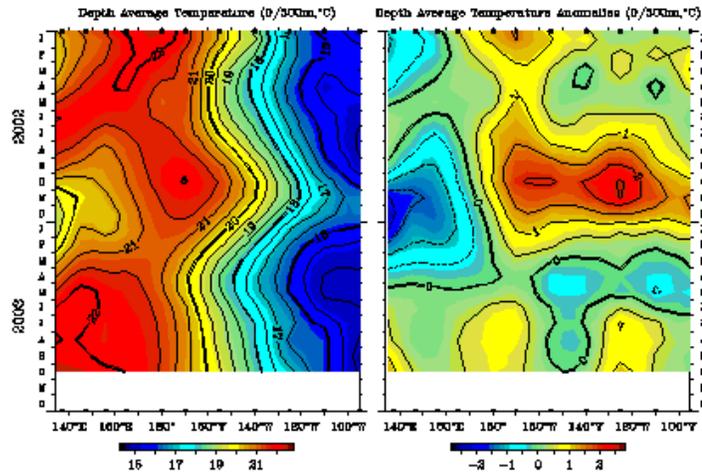
**Figura 2.** Índice de Oscilación Sur (IOS) mensual desde 1998-2003, Fuente: National Climatic Data Centre/NESDIS/ NOAA.

**Tabla 1.** Evolución de TSM (° C) y anomalías en las regiones Niño del Pacífico Ecuatorial; Niño 1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W) Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W) Niño 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W) Niño 3.4 (5°N-5°S, 170°-120°W), durante el 2002-2003.

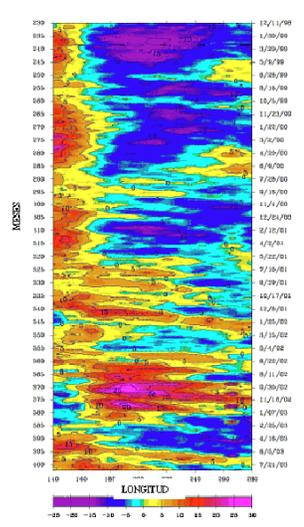
AÑO	MES	NINO1+2	ANOM	NINO3	ANOM	NINO4	ANOM	NINO3.4	ANOM
2002	1	23.64	-0.87	25.09	-0.53	28.81	0.67	26.5	-0.02
2002	2	26.06	0.03	26.21	-0.15	28.76	0.75	26.95	0.25
2002	3	27.53	1.05	27.22	0.14	28.68	0.59	27.32	0.17
2002	4	26.53	1.05	27.56	0.16	29.09	0.68	27.94	0.26
2002	5	24.8	0.47	27.24	0.19	29.45	0.79	28.15	0.39
2002	6	22.67	-0.36	27.06	0.68	29.63	0.99	28.43	0.94
2002	7	21.01	-0.81	26.03	0.46	29.49	0.92	27.98	0.9
2002	8	19.94	-0.86	25.47	0.51	29.4	0.95	27.79	1.08
2002	9	19.89	-0.6	25.54	0.7	29.44	0.96	27.83	1.19
2002	10	21.16	0.25	25.85	0.95	29.56	1.14	28.05	1.46
2002	11	22.25	0.6	26.37	1.41	29.83	1.47	28.27	1.75
2002	12	23.44	0.6	26.48	1.4	29.49	1.22	28.09	1.62
2003	1	24.38	-0.13	26.38	0.76	29.25	1.1	27.76	1.24
2003	2	25.81	-0.22	26.7	0.34	29.03	1.02	27.49	0.8
2003	3	25.97	-0.5	27.28	0.19	29.03	0.93	27.81	0.66
2003	4	24.44	-1.04	27.15	-0.25	28.96	0.56	27.81	0.13
2003	5	22.49	-1.84	26.14	-0.92	28.92	0.27	27.37	-0.39
2003	6	21.58	-1.45	25.83	-0.54	29.09	0.45	27.48	-0.01
2003	7	20.75	-1.06	25.75	0.17	29.11	0.54	27.43	0.35



**Figura 3.** Evolución de la anomalía estandarizada de la TSM en la región Niño 1+2 (0°-10° S, 90°-80° W), Niño 3 (5° N-5° S, 150°-90° W), Niño 3.4 (5° N-5° S, 170°-120° W), y Niño 4 (5° N-5° S, 160° E-150° W), período 1984-2003. Fuente: imagen modificada del Climate Prediction Centre de la NOAA- NCEP de su sitio web [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/bulletin/figt5.gif](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/bulletin/figt5.gif)



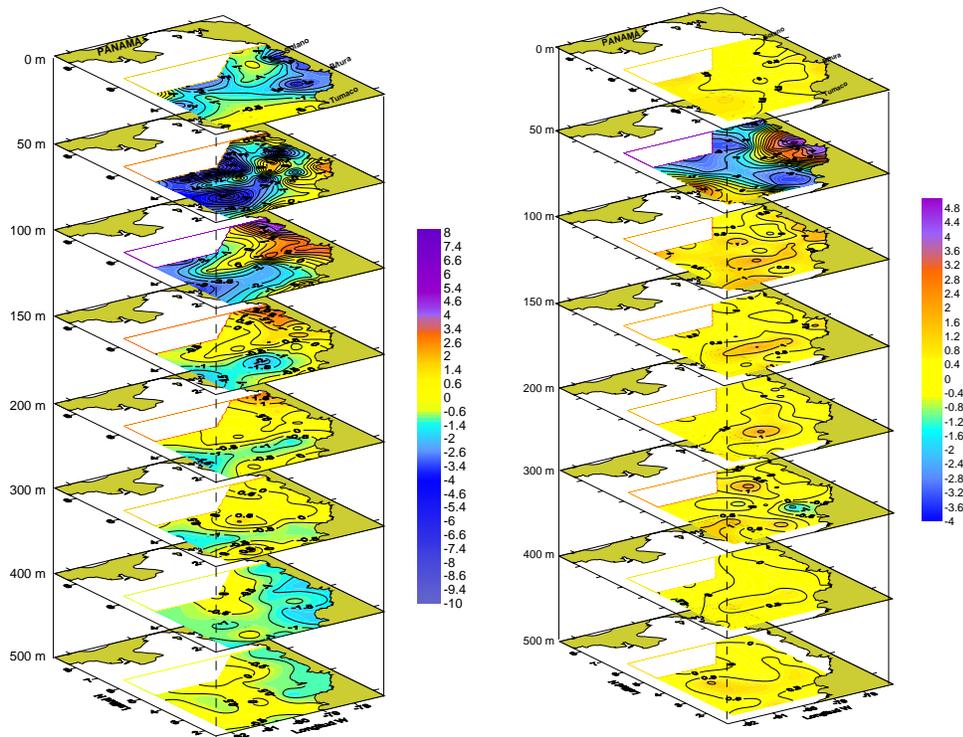
**Figura 4.** Temperatura subsuperficial del mar (° C) promedio mensual y anomalía en el Pacífico Ecuatorial (2° S a 2° N), durante enero - septiembre 2003. Imagen modificada, tomada de Pacific Marine Environmental Laboratory de la NOAA, proyecto TAO/TRITON, en su página web: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/jsdisplay>



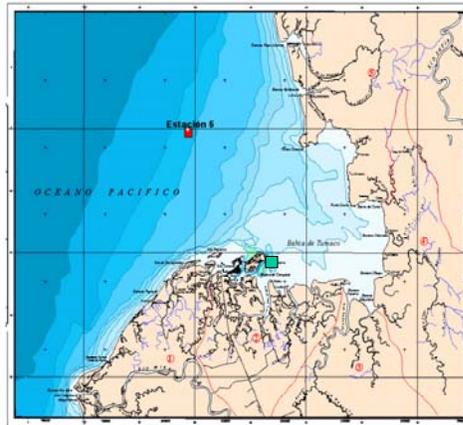
**Figura 5.** Anomalía del nivel medio del mar, observado por los satélites TOPEX/POSEIDON y Jason – 1 en el Pacífico Ecuatorial (2° N a 2° S). Imagen modificada de la página de Internet: <http://www.csr.utexas.edu/eqpac/>

**Tabla 2.** Anomalía del NMM en el Pacífico Sudeste durante el año 2002 y primer semestre de 2003. Fuente: Boletín de Alerta Climática, Comisión Permanente del Pacífico Sur, CPPS, BAC No. 136 a 154.

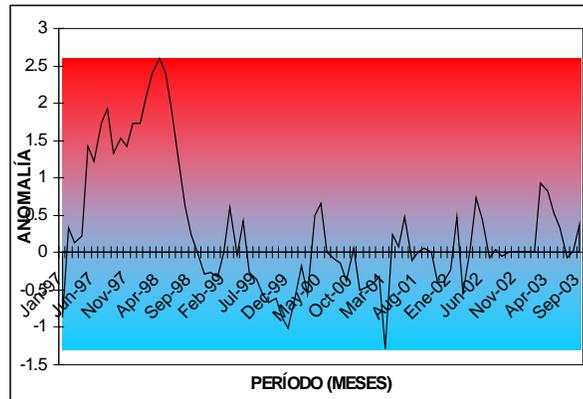
Mes	Pacífico Sudeste
Enero	-0.5 a -9.0
Febrero	0 a +5.0 (máximo +10)
Marzo	+5.0
Abril	0
Mayo	0 a +5.0
Junio	0 a -5.0
Julio	0 a -5.0
Agosto	0 a -5.0
Septiembre	0 a -5.0
Octubre	+5.0 a +10.0
Noviembre	+5.0 a +10.0
Diciembre	+5.0 a +10.0
Enero 2003	+5.0
Febrero	0 a -8.0
Marzo	0 a -10
Abril	-5 a -10
Mayo	-5 a -10
Junio	-5 a -10
Julio	0 a -5



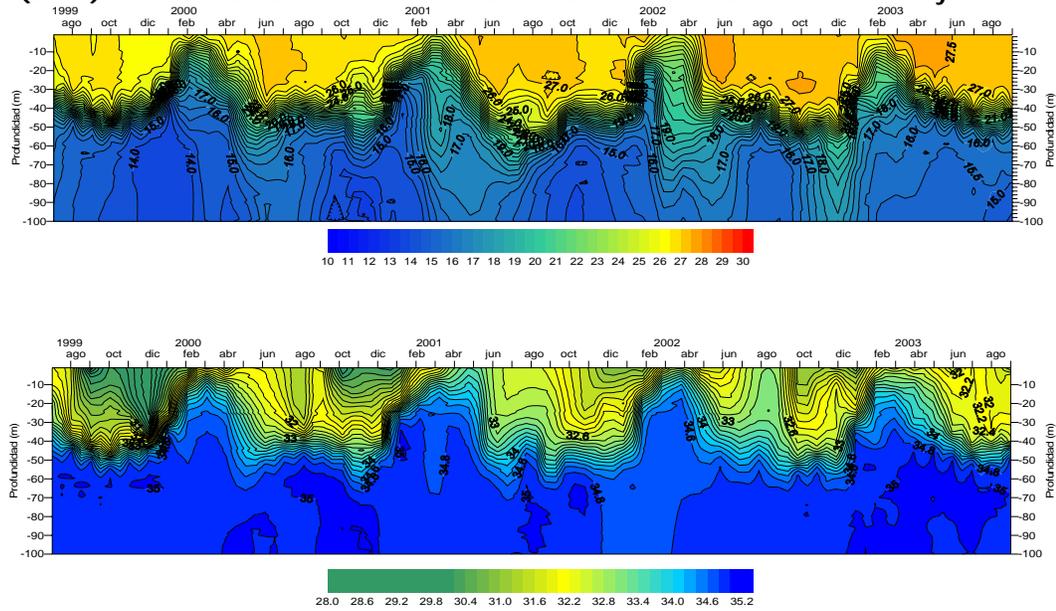
**Figura 6.** Anomalía de temperatura del mar, obtenida durante los Cruceros Oceanográficos Pacífico XXXVII EFREN XXXIV y Pacífico XXXVIII EFREN XXXV , realizados en febrero-marzo y septiembre de 2002, respectivamente, en la CPC (CCCP, 2002b). Las anomalías fueron obtenidas a partir de la



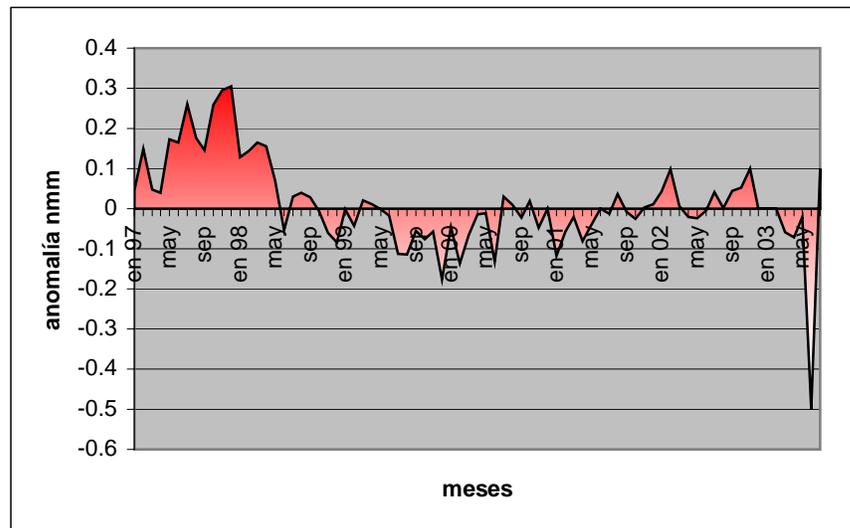
**Figura 7.** Bahía de Tumaco y posición de la estación 5 a 10 Mn de la costa (cuadro rojo) y de la estación costera ( cuadro verde), (CCCP, 2003)



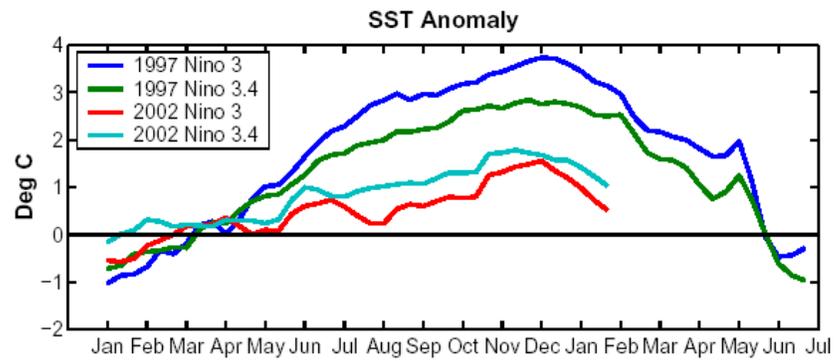
**Figura 8.** Anomalía de TSM frente al CCCP en la costa de Tumaco, durante el período enero 1997 - septiembre 2003. Debido a problemas técnicos con los equipos, en algunos meses no se presentó ningún dato. La anomalía se calculó a partir de los promedios mensuales obtenidos de mediciones realizadas desde 1960.



**Figura 9.** Temperatura ( $^{\circ}$  C) y salinidad del mar hasta 100 m de profundidad en la estación a 10 Mn de la costa de Tumaco, período julio 1999 – septiembre 2003.



**Figura 10.** Anomalía del nivel medio del mar en la bahía de Tumaco, durante enero 1997, julio 2003. Los meses de diciembre 2002 y enero y febrero 2003 no presentan datos debido a fallas con el mareógrafo. La anomalía se calculó a partir de los promedios mensuales obtenidos de mediciones realizadas desde 1980.



**Figura 11.** Comparación de las anomalías de TSM regiones Niño 3 ( $5^{\circ}$  N- $5^{\circ}$  S,  $150^{\circ}$ - $90^{\circ}$  W), y Niño 3.4 ( $5^{\circ}$  N- $5^{\circ}$  S,  $170^{\circ}$ - $120^{\circ}$  W), de los eventos El Niño de 1997 y 2002. Tomado de Lagerloef *et al.*, 2002.