

---

# SEGUIMIENTO A LA EVOLUCIÓN DE LOS EVENTOS LA NIÑA-EL NIÑO-LA NIÑA DURANTE EL PERIODO OCT/96-OCT/98 MEDIANTE LA VARIACIÓN TÉRMICA DE LAS MASAS DE AGUA EN LA CUENCA DEL PACÍFICO COLOMBIANO (CPC)

---

Teniente de Navío Gustavo Adolfo Camacho Guerrero - Oceanógrafo Físico Centro Control Contaminación del Pacífico.

## Resumen

---

El trabajo se propone presentar los resultados del monitoreo durante 1996-98 El Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCCP) hizo a los Eventos La Niña y El Niño a través de cinco expediciones oceanográficas a la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC), mediante el análisis de las condiciones térmicas del océano. Se obtuvieron perfiles verticales de 3 transectos zonales (Buenaventura  $-5^{\circ}\text{N}$ , Gorgona  $-4^{\circ}\text{N}$  y Tumaco  $-3^{\circ}\text{N}$ ), y campos horizontales de la CPC a nivel superficial, 50, 100 y 150m. Se evaluó la variación temporal de una estación hidrológica (estación 33) de acuerdo con las diferentes etapas de desarrollo de los Eventos. De igual manera se obtuvieron temperaturas y profundidades promedio de la termoclina en cada cruce-ro, caracterizando su comportamiento. Se presentan las anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la CPC para cada cruce-ro, de acuerdo con la Climatología para la CPC 1970-1996. Se pudo determinar el efecto que ocasionó el sobrecalentamiento de las aguas especialmente del Pacífico Sur de Colombia donde se vio gravemente afectado el sector pesquero y el sistema coralino de Isla Gorgona.

## Abstract

---

The purpose of the present paper is to introduce the results obtained by The Pacific Pollution Control Center (CCCCP) from the hydrological tracking to El Niño and La Niña Events, given from 96 to 98, by means of five oceanographic expeditions to The Colombian Pacific Basin (CPC). Results are based on three zonal transects vertical profiles (Buenaventura  $-5^{\circ}\text{N}$ , Gorgona  $-4^{\circ}\text{N}$  y Tumaco  $-3^{\circ}\text{N}$ ), and CPC horizontal fields at 0, 50, 100 and 150m. Temporal variation of temperature of a station (Station Nr 33) during the period of study was analysed in accordance with the different stages of development of the episodes. Average temperatures and depths of termocline were determined for each cruise. Sea Surface Temperature (SST) anomalies are shown, based on the 1970-1996 CPC climatology. The study made possible to identify the process that produced the South Pacific Colombian waters overheating which seriously affected the fisheries production and the Gorgona Island coral reef system.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde principios de siglo se ha venido registrando en forma escrita la manera como el Evento El Niño ha afectado las costas suramericanas del Pacífico. Varios han sido los sectores vulnerables, el social, el pesquero, el agrícola, el energético y el de salud entre otros. Desde entonces se han unido esfuerzos para mitigar sus consecuencias. La Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) integrado por Colombia, Chile Ecuador y Perú apoya estudios sobre el Evento para minorizar sus nefastos efectos sobre las poblaciones ribereñas. La Armada Nacional contribuye con los estudios del Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) en la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC). El presente trabajo es el resultado del procesamiento de la información obtenida en cinco cruces oceanográficos, uno de ellos (mayo/98), coordinado a nivel regional entre los países integrantes de la CPPS.

Los análisis presentados en el estudio son desarrollados con métodos convencionales; partiendo del análisis vertical de la columna de agua por estaciones y en tres transectos zonales, y el análisis horizontal a cuatro niveles (0, 50, 100 y 150m). La información recolectada durante el monitoreo oceanográfico permitió obtener datos oceanográficos, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, hasta una profundidad promedio de 1000 metros.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la Cuenca del Pacífico Colombiano, comprendida entre longitudes  $77^{\circ} 40'W$  y  $82^{\circ} 00'W$ , y latitudes  $1^{\circ} 30'N$  y  $6^{\circ} 30'N$ , con una grilla de 82 estaciones oceanográficas (Fig. N° 1).

## 3. METODOLOGÍA

Se efectuó medición de los parámetros físicos en una grilla horizontal de 82 estaciones, con espaciamiento de 30 MN entre ellas. Los cinco cruces cubrieron toda el área de estudio pero con diferente cantidad de estaciones así: octubre/96, 54; mayo/97, 65; noviembre-diciembre/97, 65; mayo/98, 65, y octubre/98, 70. Se empleó un perfilador de Conductividad, Temperatura y Densidad (CTD) - marca Sea Bird Electronics (SBE) tipo Seacat con sensor de Oxígeno Disuelto. El equipo se sumergió hasta 1000m con un winche de

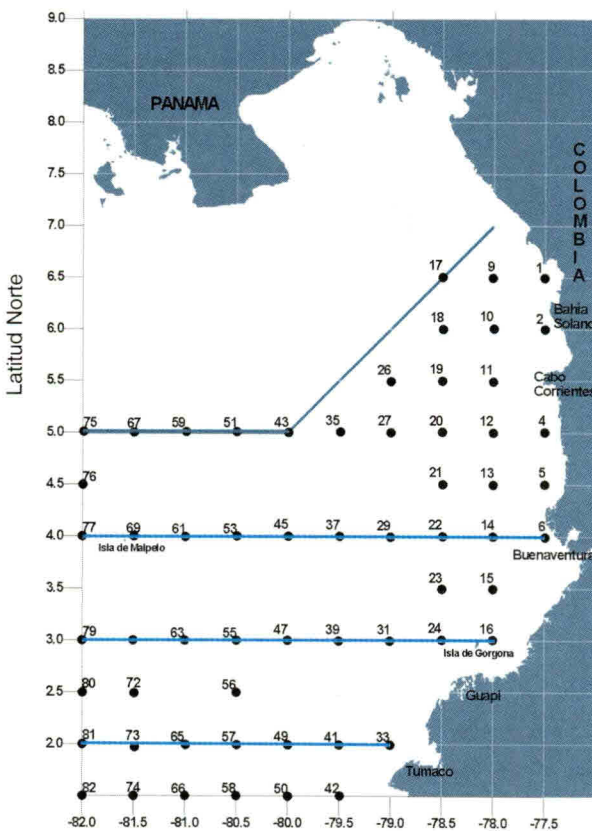


Figura No.1 Área de Estudio, Estaciones de muestreo y Perfiles de Estudio en la Cuenca del Pacífico

guaya en aquellas estaciones donde la profundidad lo permite. La medición de Temperatura Superficial del Mar (TSM) se hizo directamente con termómetro de cazoleta.

Se obtuvo información de los parámetros meteorológicos cada hora durante los cruces con una estación DAVIS - Weather Monitor II.

El posicionamiento de las estaciones oceanográficas se efectuó con un Navegador por Satélite GPS FURUNO GP1250.

## 4. RESULTADOS

Los resultados alcanzados en este trabajo son producto del análisis de la información recolectada en los cruces oceanográficos efectuados en octubre/96, mayo/97, noviembre-diciembre/97, mayo/98 y octubre/98.

Se analizaron, distribución de temperatura superficial del mar (TSM), profundidad de la termoclina estacional y de la isoterma de  $20^{\circ}C$ , y distribución de temperatura en los perfiles verticales.

En octubre/96, la CPC se encontraba ante el desvanecimiento de un evento frío de poca intensidad, además, el mes se caracteriza por su proximidad al pico negativo de TSM más intenso del año, el cual se observa entre septiembre y octubre (Malikov et al., 1999); se encontraron temperaturas bajas hasta principios de 1997 cuando se dio la *Etapa de Transición*, (Camacho et al, 1999), fase en la cual arriban las primeras ondas cálidas características del Evento El Niño. La isoterma de 20°C se ubicó a 40m de profundidad.

En mayo/97 se observó la TSM con valores entre 27.8°C y 30.2°C. Los valores más altos se obtuvieron de las estaciones más próximas a tierra como consecuencia de la capacidad de retención de calor de las masas de agua de zonas someras las cuales están sometidas a procesos dinámicos más fuertes. Estas temperaturas fueron las primeras manifestaciones del Evento Cálido en la CPC. La TSM permitió identificar la *Etapa de Transición* de la Fase Preñiño a la Fase El Niño en aguas del Pacífico Colombiano. Desde esa época hasta mediados de 1998, se aprecia el calentamiento que trajo consigo el Evento Cálido. La isoterma de 20° descendió 35m y se localizó sobre los 75m de profundidad.

En noviembre-diciembre/97 se obtuvieron valores de TSM entre 28.6 y 29.6°C (figura No 3), como resultado del monitoreo en 65 estaciones hidrológicas. A pesar de que el valor más alto se halló en el anterior crucero de mayo/97, en esta oportunidad las altas temperaturas, mayores a 29°C, fueron más repetitivas en las mediciones, la isoterma de 20°C descendió de 75 a 150m. Las anomalías positivas fueron del orden de 2.4°C (figura No. 9)

En mayo/98, el Centro de Predicción del Clima, de Estados Unidos, reportó las mayores anomalías de TSM para el área Niño 1+2 (0-10S/90-80W) con un promedio de 3.8°C (Boletín de Diagnósticos del Clima- sept/98). El CCCP encontró condiciones similares en el área de estudio, cuando las mediciones señalaron valores superiores a los encontrados en el anterior crucero de nov-dic/97, índices entre 29 y 30.4°C (figura No 4). Esto, porque al anormal calentamiento que ocasionó el Evento El Niño, se sumó el calentamiento de las masas de agua propio de las oscilaciones entreañales (Malikov et al., 1999). Las anomalías de TSM ascendieron alrededor de 1.1°C, con valores entre 2.0 y 3.5°C (figuras No. 9 y 10) y la isoterma de 20°C ascendió a 60m aproximadamente. En esta oportunidad el CCCP monitoreó Isla Gorgona por el especial interés en sus recursos natu-

rales, lo cual evidenció que los corales fueron sometidos a intensas temperaturas, sus pólipos liberaron zooxanthelas y se produjo su blanqueamiento.

En octubre/98, el sector Norte mantuvo condiciones significativas de calentamiento, en este caso con anomalías positivas del orden de 1.0°C (figura 11), mientras que en el sector sur las condiciones tendieron a normalizarse, presentando inclusive anomalías negativas del orden de -0.5°C en algunas estaciones. La isoterma de 20°C siguió su proceso de ascenso y se ubicó a 45m de profundidad. El enfriamiento está estrechamente relacionado con la oscilación entreañal en esta época del año. La circulación atmosférica está regida por el patrón de los Vientos Alisios del Sur, los cuales predominan y empujan masas de agua de la Corriente del Perú, que aún cuando mantienen anomalías positivas de Temperatura en su área geográfica (~0,6°C - Centro de Predicción del Clima, oct/98), son más frías que aquellas presentes en aguas de la CPC entre junio y octubre.

En el crucero de octubre/98 se pudo ver el descenso de temperatura en la columna de agua de 0 a 250m (figura No. 2), pero aún así se mantienen anomalías positivas.

En la figura No. 2, variación temporal de la temperatura en la estación No 33, se presenta el procesamiento de la información obtenida en los cinco cruces oceanográficos, de la estación más próxima a la Ensenada de Tumaco - Litoral Sur del Pacífico Colombiano (figura No 1). La escala empleada es la de profundidades estándar, con el propósito de presentar los cambios térmicos en los primeros metros de la columna de agua (0-150m).

En la capa superficial (0 - 30m) y hasta los 250 m se observan variaciones térmicas, enfriamiento y calentamiento, que sufrió el océano en el periodo de observación, como consecuencia de dos procesos, uno de gran escala - Eventos El Niño y La Niña - y otro de carácter local - oscilaciones entreañales.

Dentro de las características notadas en cada uno de los eventos, está el cambio que experimenta la termoclina (entendida como la capa donde se presenta el máximo gradiente térmico). En los eventos fríos presenta gradientes fuertes, del orden de 2 y 3°C por metro (Pineda et al, 1999) mientras que en los eventos cálidos está alrededor de 0.2°C por metro. Los altos gradientes característicos de los eventos fríos producen una alta estabilidad en los cuerpos de agua por la diferencia de densidades entre ellos. Esto perjudica la presencia y desplazamiento de ondas internas, cuya fuerza restauradora (fuerza de empuje -boyancia-) se hace muy grande, hasta el punto de no permitir el paso de ondas internas en el área. El

28

### ESTACION No 33

TIEMPO (CRUCEROS OCEANOGRAFICOS ARMADA NACIONAL)

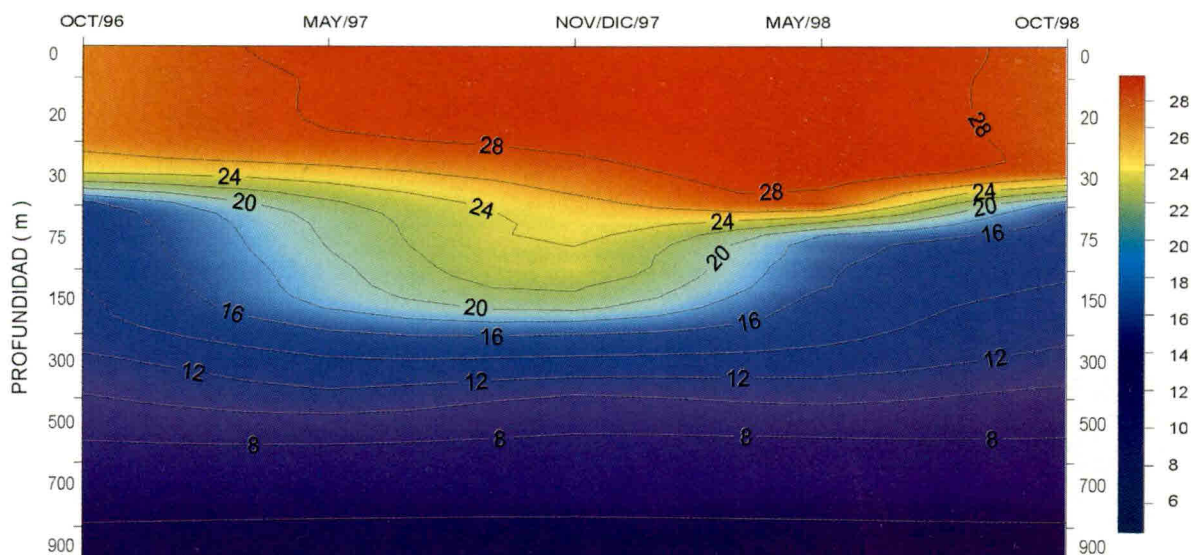


Figura No. 2: Variación temporal de la Temperatura en la Estación No. 33 observada en cinco cruceros oceanográficos

procesamiento de esta información es motivo de investigación; en octubre/98 se hallaron frecuencias de Brünt-Vaissälä ( $N^2$ ) del orden de  $0.1 - 0.2 \text{ s}^{-1}$ . La capa de cambio se ubica a profundidades alrededor de 40-45m en los eventos fríos. Cuando se trata de una capa tan amplia como las que se observan en los Episodios Cálidos no se puede hablar de una profundidad determinada, sino del límite inferior de la capa de mezcla (acuerdo conversaciones con V. Tchantsev), el cual se mantiene alrededor de los 40-50m de profundidad. Al iniciar el Episodio Cálido, la termoclina se desvanece y amplía su espesor de 5 a 125-150m aproximadamente, dimensiones que alcanzó en diciembre cuando se dió la *Etapa de Niño Intenso* (diciembre/97-febrero/98). Esa condición permanece durante el primer semestre de 1998 cuando se vuelve a compactar como consecuencia de la *Etapa de Madurez* (marzo-julio/98).

Atendiendo a las figuras 7, 8, 9, 10 y 11, Anomalías de TSM en la CPC en el periodo oct/96-oct/98, se ve claramente la evolución de los eventos La Niña-El Niño-La Niña.

En octubre/96 (Figura No.7) las anomalías oscilaron entre  $-0.4$  y  $0.8^\circ\text{C}$ , era el desvanecimiento del Evento La Niña/96, el cual se caracterizó por ser un episodio suave. Los valores mínimos se ubicaron en el sector Litoral Sur y en el Noroeste, mientras que los máximos fueron observados en los sectores, Litoral Norte y Suroeste (parte oceánica). En esta época del año, la CPC presentó temperaturas bajas de acuerdo con su dinámica entreañal.

En mayo/97 (figura No. 8), estaba terminando la *Etapa de Transición* entre los dos eventos de escala global, las anomalías de TSM incrementaron sus valores y extendieron su intervalo, esta vez oscilando entre  $-1$  y  $2.2^\circ\text{C}$ . Sólo 7 estaciones presentaron anomalías negativas. La distribución de los valores es muy similar a la encontrada en el anterior crucero, los menores valores alojados en el Litoral Sur y el Noroeste del área, y los mayores, en el Litoral Norte y el sector Suroeste.

En noviembre-diciembre/97, durante el paso de la *Etapa de Niño Típico* a *Niño Intenso* del Evento Cálido a nivel global, las anomalías de TSM oscilaron en la CPC entre  $-0.2^\circ$  y  $2.4^\circ\text{C}$ , en esta oportunidad se hallaron dos valores con anomalías negativas, los demás datos superaron los promedios mensuales para cada estación. En la figura No. 9 se aprecian dos núcleos de alta TSM localizados en el Litoral Sur y en el sector oeste de la CPC, probablemente como lo indican las isotermas, por el ingreso de aguas por estas zonas.

En mayo/98 (figura No. 10) durante la *Etapa de Madurez*, solamente se observaron anomalías positivas en las 70 estaciones monitoreadas. El rango estuvo entre  $1.3$  y  $3.5^\circ\text{C}$ , hallando los valores más altos en el Centro y Suroeste de la Cuenca. La mayoría de los valores se acumularon alrededor de  $2^\circ\text{C}$ . Posteriormente se explican los procesos involucrados en este incremento de TSM.

En octubre/98 la CPC tuvo las condiciones características de un Episodio Frío La Niña (figura No 11). Las anomalías de TSM se encontraron entre  $-1.4$  y  $1.8^\circ\text{C}$ . Los índices propios de un evento frío (anoma-

DISTRIBUCION DE TSM EN LA CPC DURANTE DIC/ 97

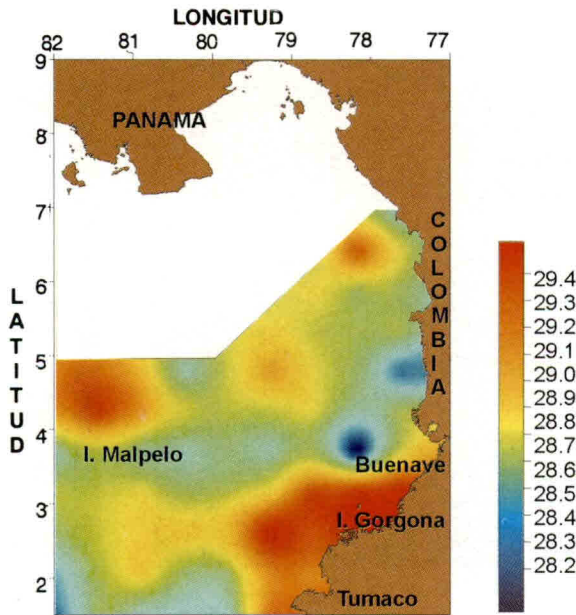


Fig 3: Durante diciembre/97 la Temperatura Superficial del Mar (TSM) promedio en el Pacífico Este fue 26.9°C, en la CPC en la misma época, "Etapa de Niño Intenso", los valores se hallaron entre 28.6°C y 29.6°C como consecuencia del previsto incremento.

DISTRIBUCION DE TSM EN LA CPC DURANTE MAY/ 98

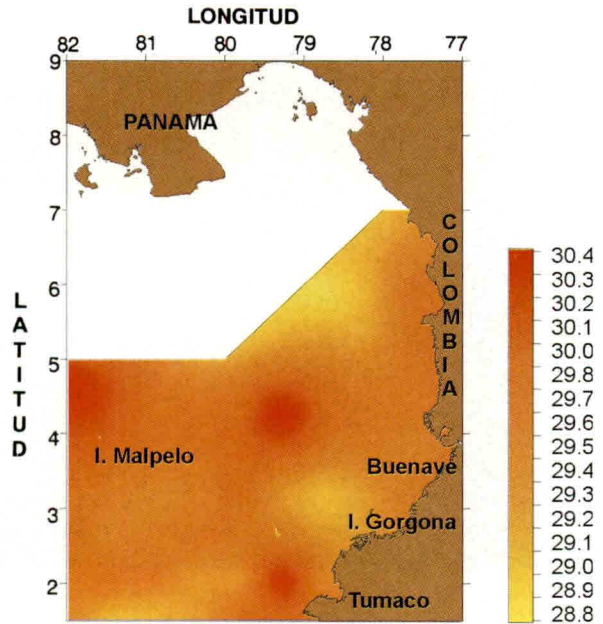


Fig 4: Según el Centro de Predicción del Clima (E.U), la TSM en el Pacífico Central, durante mayo/98, oscilaba con promedios alrededor de 27.7°C en el Pacífico Este (entre latitudes 0° y 10°S). Durante la misma época, Etapa de Madurez, el CCCP observó valores entre 28.8°C y 30.4°C en el Pacífico Colombiano

lías negativas) se localizaron en el Litoral Sur, en el Sur, y Centro de la CPC, mientras que las anomalías positivas fueron encontradas en las estaciones del Norte. De acuerdo con estudios de Tchantsev et al., 1998, esta zona noreste de la CPC se caracteriza por tener altas temperaturas de mar.

El sobrecalentamiento que se produjo en mayo/98 se puede explicar así: el ciclo entreanual de temperatura y salinidad de la CPC está relacionado con el ciclo de influencia de las corrientes en la zona. Entre diciembre y mayo predomina el ingreso de aguas de la Contracorriente Ecuatorial (CCE), mientras que la Corriente del Perú participa con mayor intensidad entre junio y noviembre. Hay dos épocas de transición, mayo-junio y noviembre-diciembre. Las épocas de transición se caracterizan por el decrecimiento de la dinámica marina y por consiguiente el calentamiento de las aguas que intervienen en ella; no hay mezcla de aguas superficiales y subsuperficiales, lo cual da lugar a que las superficiales mantengan sus altas temperaturas. El evento El Niño trae dentro de sus múltiples condicionamientos, el debilitamiento de la Corriente del Perú o Corriente de Humboldt.

Este efecto sumado al debilitamiento de las corrientes, hace que el periodo de transición se extienda, no haya aporte de aguas frías al área de estudio y por lo tanto se incrementen los índices de TSM.

Es importante destacar que en el análisis de la distribución vertical de temperatura de mar en los diferentes perfiles de estudio, Buenaventura (4°N), Isla Gorgona (3°N) y Tumaco (2°N), se aprecia claramente que en la expedición de nov-dic/97, la capa de mezclas (>28°C) se iba haciendo menos profunda a medida que se acercaba al continente (figura 5). Sobre los 82°W - sector oceánico- la profundidad es de 50m y sobre los 78°W - sector costero - la profundidad de la capa se halla entre 15 y 25m. En mayo/98 se encontró el efecto contrario (figura 6). La capa de mezcla se vio profundizada en el sector costero entre 40m - 50m, mientras que en el sector oceánico se hizo más superficial, solamente entre 25m - 30m. La capa de mezcla se forma como consecuencia de la forzante del viento sobre la superficie del océano, combinando las propiedades físicas y químicas de los cuerpos de agua presentes, y estratificándolos como uno solo con respecto a los demás.

### PERFIL DE GORGONA



Figura No. 5: Temperatura (°C) Crucero oceanográfico nov-dic/97



Figura No. 6: Temperatura (°C) Crucero oceanográfico mayo/98

La figura 5 enseña la influencia de los fuertes vientos sobre el sector oceánico, mientras que sobre el sector costero, de acuerdo con los cálculos de corrientes verticales, prevaleció la influencia de surgencias. En la figura 6 se aprecia el debilitamiento de los vientos en el sector oceánico como consecuencia de la *Etapa de Madurez* de El Niño y la profundización de la termoclina ante la ausencia de surgencias definidas.

## 5.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los valores de promedio mensual multianual (1970-1996) de TSM para cada estación de la CPC, y los obtenidos en las expediciones oceanográficas, se pudo caracterizar el periodo octubre/96-octubre/98 así: en octubre/96 se evidenció la etapa de decadencia del episodio frío La Niña/96,

ANOMALIAS DE TSM EN LA CPC DURANTE EL PERIODO OCT/96-OCT/98

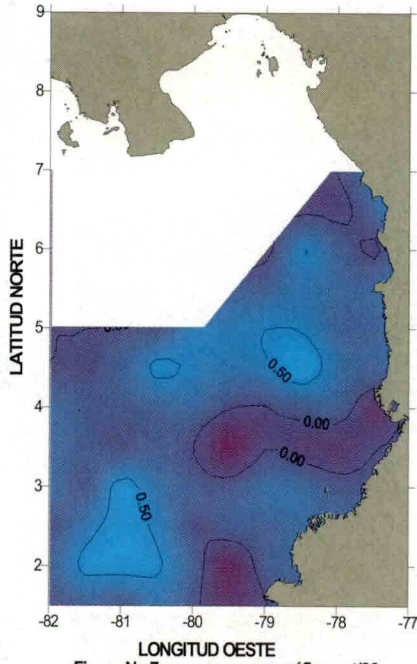


Figura No 7: crucero oceanográfico oct/96

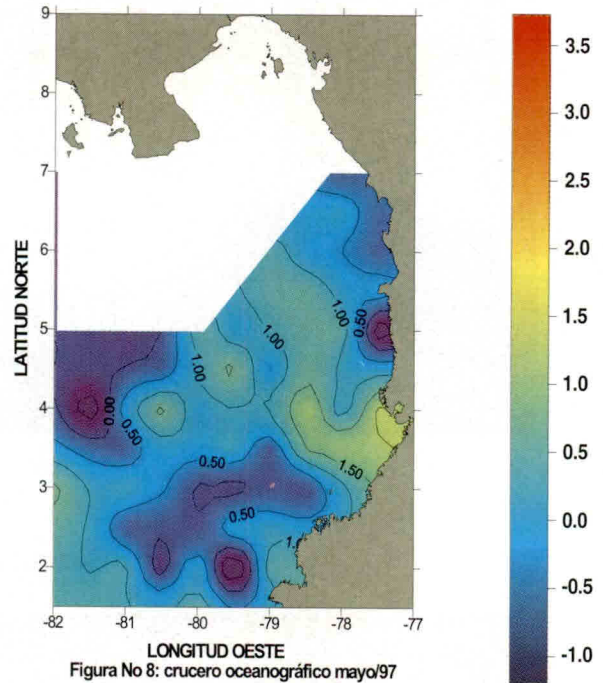


Figura No 8: crucero oceanográfico mayo/97

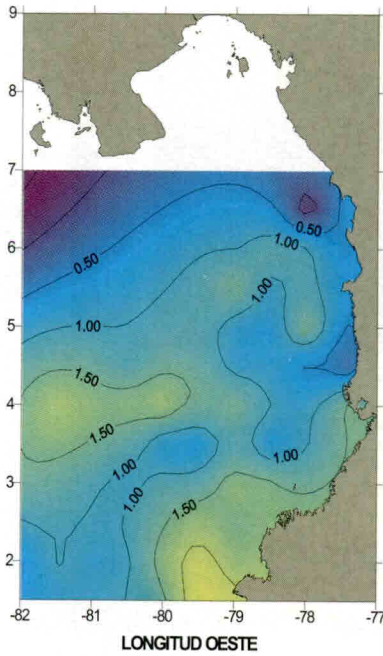


Figura No. 9: Crucero oceanográfico dic/97

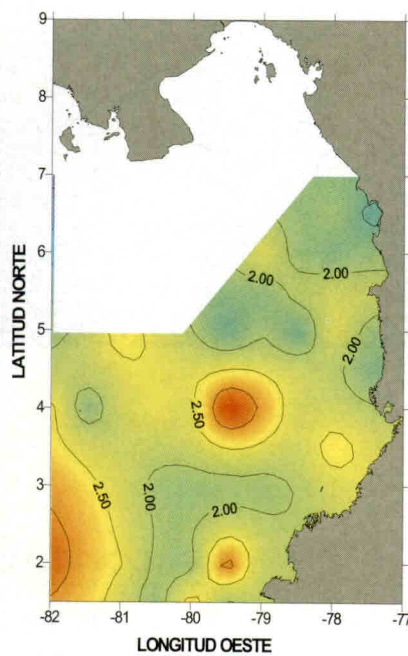


Figura No. 10: Crucero oceanográfico mayo/98

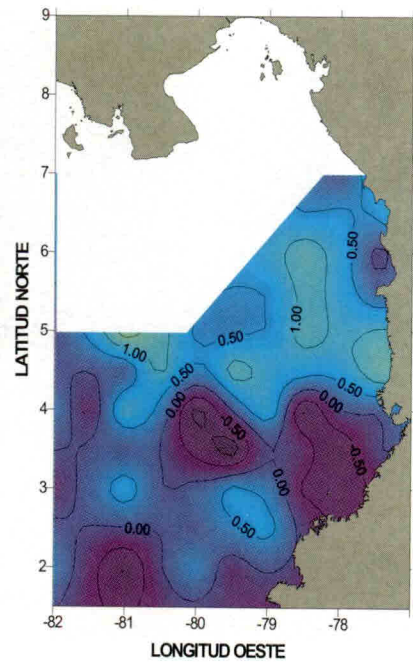


Figura No. 11: Crucero oceanográfico oct/98

con bajos valores de anomalías de TSM (-0.4 a 0.8°C). En mayo/97 se pudo identificar la **Etapas de Transición** de la Fase "Preñiño" a la Fase "El Niño" en aguas del Pacífico Colombiano. En noviembre-diciembre/97 el Evento se halló en la **Etapas de Niño Típico**, cuando se manifiestan las características más comunes de esta anomalía climática. En mayo/98 el desarrollo del Episodio en la CPC condujo a clasificar su avance como **Etapas de madurez**, intervalo en el cual los parámetros físicos y biológicos alcanzan sus mayores proporciones. Finalmente, en octubre/98, las mediciones indicaron la aparición del Evento La Niña en la CPC, arrojando anomalías entre -1.4 y 1.8°C.

Se evidenció el comportamiento de vientos en los sectores oceánico y costero, con base en el análisis de los transectos zonales de estudio, indicando un comportamiento propio de las condiciones esperadas como se indica en las gráficas 5 y 6.

Se comprobó el desvanecimiento y compactamiento que sufre la termoclina en la CPC ante el cambio de un evento frío a uno cálido y de un cálido a uno frío respectivamente como característica que acompaña a estas variaciones en la CPC.

Como se aprecia en las figuras 3 y 4, los valores de TSM en la CPC durante mayo/98 fueron superiores a los de diciembre/97, debido a la influencia de los procesos involucrados en las variaciones entreanuales del área, lo cual conllevó al blanqueamiento del coral de Isla Gorgona.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Valery Tchantsev por su continua asesoría en la explicación de los procesos oceánicos dados en la CPC y el manejo de los paquetes de software empleados.

Al Ingeniero Oceanólogo Msc Igor Málikov por el suministro de los datos relativos a los promedios mensuales multianuales de TSM en la CPC.

A los Comandantes y tripulación del buque oceanográfico ARC MALPELO, que participaron en las cinco expediciones al área, por su valioso aporte en la adquisición de la información.

## Bibliografía

BETSILL M, GLANTZ M, and CRANDALL K, *Preparing for El Niño: What role for forecasts?*, *Environment*, Vol 39 Issue 10, dec 1997.

CAMACHO G., MEDINA L., PINEDA R. y VILLEGAS N., *Informe Crucero Oceanográfico PACIFICO XXVIII - ERFEN XXVI*, diciembre 1997.

CAMACHO G., MEDINA L., PINEDA R. y VILLEGAS N., *Informe Crucero Oceanográfico PACIFICO XXIX - ERFEN XXVII*, mayo 1998.

CAMACHO G., MEDINA L., PINEDA R., *Informe Crucero Oceanográfico PACIFICO XXX - ERFEN XXVIII*, enero 1999.

CARPENTER B, CRABB CH. *The Ghosts of Coral Past*, *Science and society*, sept 1991.

GILL Adrian, *Atmosphere-Ocean Dynamics*, Academic Press, Inc. 1982.

HERRERA J. Y PINEDA R, *Informe Crucero Oceanográfico PACIFICO XXVII - ERFEN XXV*, mayo 1997.

MALIKOV Igor, *Búsqueda de los cambios entreanuales de Temperatura y salinidad en el Pacífico Colombiano*, agosto 1998.

MALIKOV I. y CAMACHO G., *Método de Aproximación para determinar cambios entreanuales aplicado a parámetros de Temperatura y Salinidad del Pacífico Colombiano*, noviembre 1998.

MONATERSKY Richard, *Spying on El Niño*, *Science News*, Vol. 152 Issue 17, oct 1997.

NASH Madeleine, *Is it El Niño of the century?*, *Time*, Vol 150 Issue 7, aug 1997.

REYNA J., MEDINA L., PINEDA R. y VILLEGAS N., *Informe Crucero Oceanográfico PACIFICO XXVI - ERFEN XXIV*, diciembre 1996.

TCHANTSEV V. y CABRERA E., *Algunos Aspectos de Investigación de la Formación del Régimen oceanográfico en el Pacífico Colombiano*, noviembre 1998.