

VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA EN ECUADOR ASOCIADA CON EL EVENTO ENSO 1997-98

Por:

E. Zambrano Q., R. Martínez G., y J. Garcés-Vargas.¹

ABSTRACT

At the beginning of April 1997, the Ecuadorian Research Vessel B/I Orión accomplished an oceanographic cruise in the Ecuadorian sea and around of the Galapagos Islands. Analyses showed dramatic results: 15°C isotherm at 240 m depth, more than 150 meter below normal. Anomalies of Sea Surface Temperature (SST) registered up to +4.0°C. Simultaneously the shore station of La Libertad registered positive anomalies of +0.7°C. Termohaline analysis determined an anomalous invasion of subtropical waters from Central Pacific. The equatorial undercurrent was perceived weak and equatorial upwelling could not be evidenced. Oceanographic panorama on the Ecuadorian Sea was confusing. Initial diagnosis suggested El Niño conditions in progress. For May and June, evolution of conditions confirmed the presence of a warm event. In July of 1997 anomalies of the SST reached +3.2°C, the air temperature (AT) +4.1°C and the Mean Sea Level (MSL) in La Libertad +25.0 cm of positive anomaly. The wet station was longer on the Ecuadorian coast, because of the intensification of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which remained stationary over the country. The seasonal cycle permitted the considerable thermal anomalies not to have important convective effect. The weak influence of Humboldt Current and corresponding activation of the Southeast trade winds kept the temperature of the ocean below deep convection although they were warmer than normal. From July to September, the level of the anomalies of the MSL descended. However at the end of September consistent ascent that would culminate in December began, where the MSL overcame the marks of the EL Niño 1982-83, registering +42.0 cm in La Libertad. Meanwhile the SST and AT during the same period kept anomalies average of +3.5°C. The isotherm of 15°C for the month of December was located below the 200 meter. The conjunction of warming typical of seasonal cycle and anomalies influenced by the ENSO, caused the terrible wet station lived in Ecuador. It was the second and highest ENSO event 1997-98 in relation to the MSL. Since January to May of 1998 SST anomalies of +3.0°C were registered, these absolute values overpassed the deep convection threshold (28.1°C). Anomalies of accumulated precipitation in Guayaquil since January of 1997 to September of 1998 overcame the 5300 mm (280% in excess over the normal for the period in consideration). For April of 1998, when the fall of the anomalies was expected, a new Kelvin pulse broke out again the conditions, configuring the stage of a third maximum in MSL characterizing this ENSO event 1997-98, breaking the comparative schemes with their similar (ENSO 1982-83). After that the Ecuadorian sea experienced since May of 1998 descent of their anomalies. Magnitude of the anomalies reached in this event as well as their duration (≈ 19 months) converted it in the most severe ENSO event of the century lived over Ecuadorian territory.

RESUMEN

En abril de 1997, el Buque de Investigación de la Armada del Ecuador B/I Orión, efectuó un crucero oceanográfico en el mar ecuatoriano y en las inmediaciones de las Islas Galápagos. El análisis mostró que la isoterma de 15°C se había profundizado 240 m, más de 150 metros por debajo de la normal para la época. Las anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM) registraron hasta +4.0°C; simultáneamente la estación costera de La Libertad registraba anomalías positivas de +0.7°C. El análisis termohalino determinó una invasión anómala de aguas subtropicales superficiales provenientes del Pacífico Central. La Subcorriente ecuatorial se percibió debilitada y profundizada y los afloramientos ecuatoriales no se pudieron evidenciar. En definitiva, el panorama oceanográfico en el mar ecuatoriano era desconcertante. El diagnóstico inicial permitía vislumbrar condiciones tipo El Niño en progreso. Para mayo y junio, la evolución de las condiciones confirmó el devenir de un evento ENSO. Para julio de 1997 las anomalías de TSM alcanzaron +3.2°C, la temperatura del aire (TA) +4.1°C y el Nivel medio del mar (NMM) en La Libertad los 25.0 cm de anomalía positiva. La estación húmeda se prolongó sobre la costa ecuatoriana, en respuesta a la intensificación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que se mantenía estacionaria sobre el país. El ciclo estacional permitió que las considerables anomalías térmicas no tengan el efecto convectivo consiguiente. La débil influencia de la corriente de Humboldt y la relativa activación de los vientos alisios del Sudeste, conservaron las aguas del océano por debajo del umbral de convección aún cuando estaban más cálidas que lo normal. A partir de julio y hasta septiembre, el nivel de las anomalías del NMM descendió, sin embargo a finales de septiembre empezó

¹ Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. Avda. 25 de julio Base Naval Sur, casilla 5940 Guayaquil - Ecuador. Fax (5934)485166. E-Mail: inocar@inocar.mil.ec, eduardozambrano@hotmail.com, jgarces@mixmail.com

un consistente ascenso que culminaría en diciembre, donde el NMM superó las marcas de El Niño 1982-83, registrando en La Libertad +42.0 cm; mientras tanto la TSM, la TA durante el mismo periodo mantuvo anomalías promedio de +3.5°C. La isoterma de 15°C para diciembre se ubicó por debajo de los 200 metros. La conjunción del calentamiento propio del ciclo estacional y las anomalías favorecidas por el ENSO, vaticinaban una extremadamente fuerte estación húmeda a soportarse en el Ecuador, era pues el segundo y gran máximo del evento ENSO 1997-98 en lo que respecta al NMM. Durante los meses de enero a mayo de 1998 se mantendrían anomalías por encima de +3.0°C en la TSM, cuyos valores absolutos rebasaran los 28.1°C. Las anomalías de las precipitaciones acumuladas en Guayaquil durante el periodo enero de 1997 a septiembre de 1998 superaron los 5300 mm. (280% de exceso sobre la normal para el periodo en consideración) Para abril de 1998, cuando se esperaba la caída de las anomalías un nuevo pulso kelvin recrudeció las condiciones configurando el escenario de un tercer máximo en NMM muy peculiar de este evento ENSO 1997-98, rompiendo los esquemas comparativos con sus similares; el mar ecuatoriano experimentó luego de mayo de 1998 el descenso de sus anomalías. La magnitud de las anomalías alcanzadas en este evento así como su duración (≈ 19 meses) lo convierten el más severo del siglo soportado sobre territorio ecuatoriano.

INTRODUCCION

Destrucción aproximada del 80% de la red vial costera del Ecuador, miles de familias damnificadas sin vivienda, alrededor de 200 personas muertas o desaparecidas; en resumen pérdidas aproximadas en \$3000 millones de dólares USD. Tal era el panorama desalentador que durante el periodo de Diciembre de 1997 a Junio de 1998 se observaba a lo largo de todo el litoral ecuatoriano, que soportó una de las más crudas y prolongadas estaciones húmedas (invierno) registradas.

¿Cuál era la causa responsable de tanta destrucción? El Niño, evento de interacción océano-atmósfera, que nuevamente se hacía presente en la Cuenca del Pacífico. Analizando el registro de las ocurrencias de años normales y anómalos elaborado por Rivera (1987), se observa que El Niño no es cíclico pero sí recurrente y de intensidad variable (Espinoza, 1996; Zambrano, 1996); por lo que se considera no muy apropiado el término de Fenómeno, ya que este se le asigna a cosa extraordinaria muy poco común y El Niño tiene una frecuencia de ocurrencia que lo vuelve bastante frecuente para esta región del Pacífico. Se considera que el uso del término evento es más apropiado, por cuanto este se asigna a acontecimientos imprevistos tal como ocurre con El Niño hasta el presente momento. McPhaden et al., (1998) hace notar sobre el rango de interpretaciones que hace la literatura cuando utiliza los términos El Niño, La Niña y el ENSO (por sus siglas en inglés de "El Niño y la Oscilación Sur") con sus fases frías y cálidas.

Es numerosa la bibliografía existente sobre el Evento ENSO, trabajos recientes han dado nueva luz sobre el mecanismo de formación, desarrollo y disipación del Evento ENSO, siendo esta ampliamente discutida en Neelin et al., (1998) y McPhaden et al., (1998); lo que ha suministrado detallada información teórica sobre los mecanismos responsables así como de la irregularidad del ENSO y sus manifestaciones océano atmosféricas, tal conocimiento ha permitido elaborar complicados modelos de interacción océano atmósfera. (Latif et al.,

DETECCIÓN DE EL NIÑO EN EL ECUADOR

Durante el segundo semestre de 1996 en la mayor parte del Pacífico ecuatoriano predominaron las anomalías negativas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de -1.0°C, con excepción de las Galápagos donde por el reforzamiento de las surgencias, las anomalías fueron de -3.0°C y hasta -4.0°C. Subsuperficialmente al oeste de Galápagos (92°W) fue notorio el ascenso de las isotermas entre 20 y 60 m acompañado de un núcleo de agua de alta salinidad (>35.2 UPS) y de relativa baja temperatura (17.0°C), características atribuibles a las aguas de la Subcorriente Ecuatorial (Corriente de Cromwell). En resumen las condiciones oceánicas encontradas durante la segunda mitad de 1996 eran ligeramente frías y de acuerdo con los modelos de simulación océano-atmosférica, la tendencia era hacia la normalización para finales de 1996.

En Febrero de 1997, el Boletín de Análisis Climático (BAC) de la CPPS señalaba que los índices oceánicos y atmosféricos apuntaban a que las condiciones climáticas en el Océano Pacífico Tropical continuarían mostrando características típicas de un periodo de normalización. El Índice de la Oscilación del Sur (IOS) se encontraba por encima de su valor normal (+1.7). De acuerdo a las imágenes de la NOAA, la TSM en febrero de 1997 se encontraba dentro de sus valores normales en todo el Pacífico ecuatorial, inclusive frente a la costa de Sudamérica y al norte de los 12°S. La actividad convectiva continuaba menos intensa que lo normal en el Pacífico ecuatorial central. Estas condiciones indicaban que la TSM frente y a lo largo de la costa Sudamericana se mantendría probablemente dentro de sus valores normales durante los próximos meses.

Para marzo de 1997 se observaron ligeras anomalías positivas de la TSM en la región del Pacífico ecuatorial occidental y central, y en la región del Pacífico ecuatorial oriental se evidenciaron anomalías positivas de la TSM, del orden de +1.0°C. En la región frente a la costa de Sudamérica y al norte de los 12°S, las anomalías de la TSM eran del orden de

+0.9°C. Los procesos convectivos en la región del Pacífico ecuatorial central se habían intensificado, en febrero ligeramente menos intensos que lo normal y en marzo ligeramente más intensos que lo normal. El valor del IOS cambió de +1.7 en febrero a -1.1 en marzo. Las condiciones sugerían que el Océano Pacífico ecuatorial evolucionaba de un período ligeramente más frío a un período de calentamiento gradual en varias secciones del Pacífico ecuatorial, y se anticipaba que la TSM frente y a lo largo de la costa Sudamericana al norte de los 12°S, se mantendría dentro de sus valores normales, pero con ligeras anomalías positivas, durante los próximos tres meses (BAC N°78).

En abril de 1997 el B/I Orión, buque oceanográfico de la Armada ecuatoriana, efectúa un crucero oceanográfico en aguas nacionales del Ecuador reportando que la situación océano-atmosférica del mar ecuatoriano presentaba anomalías consistentes con la formación y desarrollo de un evento El Niño frente a la costa de Sudamérica, que se caracterizaba principalmente a 1°N por la presencia de aguas de altas temperaturas y baja salinidad provenientes de la cuenca de Panamá, las cuales se extendían hacia latitudes sur a la altura del meridiano 87°W. Las aguas más salinas y menos cálidas provenientes del sur se incrustaban generando un débil frente ubicado en 1°S. Por otro lado la bifurcación generada por la barrera natural de las Islas Galápagos, dividía la Subcorriente ecuatorial en dos ramales, especialmente el sur que introducía aguas cálidas y salinas provenientes del Pacífico central. En el centro del mar ecuatoriano, el calentamiento era evidente y el desplazamiento de aguas cálidas hacia nuestro mar se hacía visible en los distintos contornos de salinidad y temperatura. (INOCAR, 1997a).

Otro indicio importante de este calentamiento gradual, fue la estratificación y la profundización de las isotermas en toda el área de estudio (Figura 1) al igual que en las estaciones fijas frente a los puertos de Salinas y Manta. La isoterma de 15°C se ubicó entre 140m y 250m, niveles anómalos para la época, lo que sugería un calentamiento subsuperficial. De igual manera el Nivel Medio del Mar (NMM) también mostraba un comportamiento anómalo. Todo esto como resultado de un proceso paulatino de calentamiento acaecido aproximadamente uno o dos meses atrás.

El monitoreo de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) permitió evidenciar, para abril de 1997, que el ramal norte estaba sobre Colombia, en respuesta congruente a la actividad convectiva generada por las anomalías cálidas en el océano y transportada por los vientos del oeste en el nivel de los 200 hPa, NOAA. En cambio la situación con el ramal sur, era distinta, el alta Semipermanente que gravitaba en conjunto a las aguas frías del sur se vio retrasada en su desplazamiento normal hacia el norte probablemente por la intrusión de aguas cálidas, lo cual a su vez generó la localización de núcleos convectivos dispersos sobre Guayaquil y las

precipitaciones anómalas en abril y mayo, agravadas con el calentamiento en el sur de nuestro mar entre la longitud 92°W y 87°W y la consiguiente recirculación en la alta atmósfera sobre el litoral sur ecuatoriano.

En mayo de 1997 a la luz de los últimos muestreos del B/I ORION el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) anunciaba: *"El mar ecuatoriano experimenta al momento el desarrollo de un evento cálido anómalo más intensificado al norte y con descenso gradual hacia el sur. El desplazamiento de aguas cálidas desde la cuenca de Panamá y el aporte de masas de agua cálidas transportadas por la contracorriente ecuatorial han contribuido a este calentamiento que se extiende en la vertical hasta los 300 m aproximadamente. Esta anomalía oceánica habría causado que el ramal sur de la Zona de Convergencia Intertropical se ubique sobre el área del Golfo de Guayaquil provocando precipitaciones anormales. Todo esto como resultado de un proceso paulatino de calentamiento acaecido aproximadamente uno o dos meses atrás y cuya evolución futura no se podría al momento determinar con exactitud"*. (Acta ERFEN, 1997).

Para junio de 1997 los índices oceánicos y atmosféricos confirmaban el desarrollo de un evento El Niño, así mismo el Índice de oscilación sur (IOS) se encontraba muy por debajo de su valor normal para la época; los vientos ecuatoriales se debilitaron aún más e inclusive cambiaron de dirección prácticamente en todo el Pacífico ecuatorial; las anomalías de TSM alcanzaron el orden de +5.0°C frente a las costas de Sudamérica, de +2.0°C en el Pacífico central y de +1.0°C en el Pacífico occidental. De igual manera la termoclina continuaba profundizándose progresivamente en todo el Pacífico ecuatorial oriental. Con respecto a los resultados de los principales modelos numéricos, estos indicaban que el calentamiento en el Pacífico central y oriental continuaría hasta el primer o segundo trimestre de 1998 con anomalías menores a +4.0°C.

Un nuevo crucero del B/I ORION en agosto de 1997, confirma que el evento ENSO se presentaba en el mar ecuatoriano con características propias de su desarrollo; no estuvo presente el Frente Ecuatorial, mostrando un comportamiento anómalo para la fecha, al igual que la corriente de Humboldt que no fue detectada frente a las costas ecuatorianas, la ZCIT había experimentado un prematuro descenso hacia las costas del Ecuador.

El objetivo de este artículo es documentar científicamente la evolución del evento "El Niño" en Ecuador, desde el punto de vista oceanográfico, sugiriendo posibles mecanismos involucrados en este proceso, vinculados a ondas interestacionales Kelvin en el océano (Kessler et al., 1995) que actúan como contraparte a las oscilaciones de 60 a 75 días en la atmósfera (Maden-Julian, 1995) y más específicamente de ondas encontradas en los espectros de nivel medio del mar y TSM en el mar ecuatoriano-

colombiano con estas mismas características (Martínez, 1998).

DATOS Y MÉTODOS

Los datos de TSM, TSA y NMM fueron recopilados por el INOCAR de la estación costera de La Libertad ($02^{\circ}13'S - 80^{\circ}54'W$), se consideró esta estación por mantener una serie de tiempo bastante significativa (1975-1998) y con pocos vacíos. Como un representativo de las lluvias sobre la costa ecuatoriana se consideró la estación de Guayaquil ($02^{\circ}16'S - 79^{\circ}54'W$) por ser la de más rápida y directa respuesta durante los eventos El Niño, (Ing. J. Regalado, comunicación personal). En este trabajo se consideran también las lluvias acumuladas de enero de 1997 a septiembre de 1998 de las estaciones costeras de San Lorenzo, Esmeraldas, Manta, La Libertad, Guayaquil, Puná y Puerto Bolívar, (Figura 1); también se utilizó la estructura térmica de una estación ubicada aproximadamente 10 millas náuticas costa afuera frente a La Libertad; la información de TSM correspondiente a los cruceros oceanográficos de abril y agosto de 1997 (área comprendida entre los $82^{\circ}30'W$ hasta $92^{\circ}00'W$ y desde los $3^{\circ}10'S$ hasta $1^{\circ}00'N$); información subsuperficial de 5 estaciones del CTD desde la superficie hasta los 500 metros de profundidad, efectuada en los cruceros oceanográficos del B/I ORION en marzo de 1989, agosto de 1990, abril y agosto de 1997 y marzo de 1998 correspondiente a la sección $82^{\circ}30'W$ entre $01^{\circ}N$ y $3^{\circ}10'S$ por, (Figura 1).

La información meteorológica y oceanográfica correspondiente a las series de tiempo fue obtenida, promediando los valores de TSM y TSA de tres mediciones diarias, los datos de lluvia de Guayaquil son acumulados mensuales mientras que de las estaciones costeras se tomaron los valores acumulados de enero de 1997 a septiembre de 1998 y se los comparó con las medias acumuladas en el mismo periodo, y los datos de NMM es el promedio diario de 24 mediciones horarias.

Las normales de TSM y TSA fueron obtenidas promediando los valores diarios desde el año de 1975 a 1996 y para el NMM de 1950 a 1996. Para las lluvias en Guayaquil se usó los valores promedio de acumulados mensuales de lluvia de 1962 a 1996.

La estructura térmica subsuperficial de la estación a 10 mn costa afuera de La Libertad corresponde a temperaturas obtenidas de lances de CTD realizados cada 20 días aproximadamente desde la superficie hasta los 100 metros de profundidad.

La TSM horaria de los cruceros oceanográficos fue determinada por medio de un termómetro fuera de borda (termómetro de balde) y comparada con los mapas que muestran los valores numéricos de TSM de la climatología de Reynolds (1982) en todo el trayecto. Los datos del CTD fueron tratados con el programa SEASOFT del mismo equipo, en el que se utilizó un filtro de presión a fin de eliminar las pequeñas señales

indeseables presentes en el perfil de la estación causados por las oscilaciones del buque debido al oleaje y otros factores, obteniéndose salinidad y temperatura cada 5 metros.

La identificación de masas de agua se hizo de acuerdo a los tipos de agua mencionados en Enfield (1975). Se comparó la estructura termal y halina de 1997 y 1998 con la de 1989 y 1990 años considerados normales, INOCAR (1989, 1990).

Para el análisis de las lluvias de las estaciones costeras se las comparó con los valores promedios acumulados mensuales en el periodo señalado anteriormente.

RESULTADOS

A. Temperatura Superficial del Mar (TSM)

A finales de enero de 1997 en el Pacífico ecuatoriano se observan las primeras anomalías positivas de TSM (Figura 2) las cuales se mantienen hasta los primeros días de abril del mismo año. Hay que mencionar que a mediados de marzo la TSM sobrepasó los $28^{\circ}C$. Durante mediados de abril nuevamente aparecen las anomalías de TSM positivas, las cuales persistieron hasta septiembre de 1998.

Entre los meses de julio de 1997 y junio de 1998 (1 año) las anomalías positivas de TSM oscilaron alrededor de $+3.5^{\circ}C$. En diciembre de 1997 los valores absolutos de TSM sobrepasaron los $28^{\circ}C$ y se mantuvieron hasta finales de mayo de 1998. Los máximos valores absolutos se registraron durante marzo de 1998 (alrededor de $29.9^{\circ}C$). En junio de 1998 hay un decremento de las anomalías de TSM que gradualmente descendieron alcanzando en septiembre de 1998, $+0.5^{\circ}C$.

B. Temperatura Superficial del Aire (TSA)

La serie (Figura 2) muestra a principios de febrero de 1997 las primeras anomalías positivas de TSA las cuales se mantienen al igual que la TSM hasta los primeros días de abril del mismo año, luego de lo cual persistirían hasta septiembre de 1998. Las anomalías de TSA entre julio y noviembre oscilaron entre $+4.0^{\circ}C$, luego de observarse las máximas anomalías a finales de noviembre ($+5.0^{\circ}C$). A mediados de 1998 las anomalías positivas de TSA declinarían gradualmente hacia la estabilización total en octubre de 1998.

C. Nivel Medio del Mar (NMM)

Las primeras anomalías positivas de NMM (Figura 2) se observaron a finales de febrero las cuales culminaron a mediados de marzo de 1997, a partir de allí se observan tres grandes picos de anomalías en julio ($+25$ cm) y diciembre (máximo, $+42$ cm) de 1997 y mayo ($+37$ cm) de 1998, de estos el que mayor tiempo se mantuvo con significativas anomalías en promedio fue el segundo, el tercero en cambio fue de acción breve.

Para septiembre de 1998 el NMM alcanzaría sus valores normales.

D. Precipitación en Guayaquil

Las precipitaciones en Guayaquil (Figura 2) muestran en marzo de 1997 un gran incremento sobre la media. Durante los siguientes meses (abril-octubre de 1997) las precipitaciones oscilan sobre la media. Entre noviembre de 1997 a junio de 1998, las lluvias sobrepasan considerablemente los valores normales, siendo abril el de las mayores anomalías.

E. Precipitaciones acumuladas en el Ecuador

Entre enero de 1997 a septiembre de 1998 en todas las estaciones costeras del Ecuador se evidencia un apreciable aumento de precipitaciones con respecto a la normal, siendo el máximo en la estación de La Libertad con un exceso del 560%, (Figura 2).

F. Estructura térmica vertical (La Libertad)

Se tomó como referencia la isoterma de 20°C que representa en forma consistente la estructura termal en la costa del Ecuador y puede ser considerada como el límite superior de la termoclina, Zambrano (1998). La estructura térmica vertical muestra claramente la presencia de tres pulsos bien definidos que profundizan la termoclina. El primero ocurrió en marzo de 1997 con una duración aproximada de 85-90 días. Luego de un rápido y breve periodo de recuperación de la termoclina, acontece el segundo pulso desde octubre de 1997 y con una duración aproximada de 75 días. Finalmente en marzo de 1998 con menor intensidad y menos duración se produce un último pulso cuya duración fue de 60 días aproximadamente, (Figura 3).

G. Distribución de la temperatura superficial del mar, cruceros oceanográficos.

1. Abril 1997

La distribución de TSM durante este periodo muestra la presencia de aguas "cálidas" provenientes del norte, entre el continente y las I. Galápagos delimitados por la isoterma de 28°C. Alrededor de las I. Galápagos se aprecian aguas frías que se desplazan hacia el este siendo las más frías aquellas localizadas al oeste de la I. Isabela, (Figura 1). Por otro lado hacia el sur de 2°S entre la costa y los 84°W se observa la intrusión de aguas "ligeramente frías" (<24°C) proveniente del sur. Esta agua del sur al encontrarse con las del norte, aproximadamente en 1°S, presentan la tendencia de dirigirse hacia el oeste debido a la oposición que presentan las aguas del norte que impiden el avance de las del sur formando un ligero gradiente térmico a manera de un frente oceánico, (Figura 4). Las anomalías de +4.0°C ingresando desde el norte, mientras que por el sur estas son de hasta +1.0°C. Así mismo al oeste de las I. Galápagos las anomalías fueron de hasta -1.0°C.

2. Agosto 1997

La distribución de TSM, mostró la presencia de aguas "más cálidas" ($\geq 26^\circ\text{C}$) sobre la línea ecuatorial y al sur de las islas Galápagos y "menos cálidas" (<26°C) bajo el paralelo 0° sobre las islas Galápagos y sudeste de las mismas, (Figura 4). Las máximas anomalías de TSM (5°C) se mostraron en el centro-sur, entre las islas Galápagos y el Ecuador continental, así mismo anomalías entre +3.5°C y +4.5°C se presentan en toda la superficie a excepción de la parte central y costera norte en que las anomalías se manifiestan menos intensas (+3.0°C).

H. Sección oceanográfica 82°30'W

1. Abril 1997

La distribución de temperatura muestra el ingreso de aguas cálidas desde el norte con temperatura superior a los 28°C con un espesor de unos 20 m. La estructura térmica de esta sección muestra la profundización y estratificación de las isoterma. Así la isoterma de 15°C se ubicó alrededor de 240 m, la termoclina permanente profundizada (alrededor de 80 m) con un gradiente débil (Figura 5).

La distribución de salinidad en esta sección muestra superficialmente la presencia de aguas de baja salinidad (<33.5 UPS) al norte de 1°N, identificadas como aguas tropicales superficiales (ATS) provenientes de la Cuenca de Panamá; hacia el sur de la sección se localizan las aguas con valor superior a 34.5 UPS, (Figura 5).

En el nivel de los 80 y 120 m aproximadamente se localizan las aguas de alta salinidad consideradas como agua ecuatorial subsuperficial asociadas con la corriente de Subcorriente ecuatorial. Aún cuando la temperatura ha descendido en la superficie (extremo sur de la sección) en la vertical se percibe un calentamiento gradual persistente provocado por el ingreso de aguas cálidas del norte y del oeste, (Figura 5).

Comparando las temperaturas de las secciones de abril de 1997 y marzo de 1989 (considerado como año normal) se puede evidenciar subsuperficialmente anomalías positivas presentándose las mayores entre los 30 y 130 metros (mayores de +4.0°C). Superficialmente se evidencian pequeñas anomalías negativas (alrededor de -1.0°C).

La distribución de salinidad (Figura 5) muestra anomalías positivas en toda la sección encontrándose las mayores en los primeros 15 m, centradas en 1°S.

2. Agosto 97

La identificación de masas de agua en la transecta permitió determinar al sur de la sección y hasta 1°S la presencia de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (17-20°C, >35.1 UPS) entre los 40 y 90 m de

profundidad correspondiente a la Subcorriente ecuatorial; Agua Subtropical Superficial (ASS) ($>25^{\circ}\text{C}$, >35 UPS) localizada al sur de la sección a nivel superficial hasta los primeros 30 m.; ATS ($>25^{\circ}\text{C}$, <33.8 UPS) hacia el norte de la sección y entre 0 y 40 m de profundidad; y Agua Ecuatorial Superficial ($21-25^{\circ}\text{C}$, $34.0-34.8$ UPS) ubicada entre 0° y 1°S en los primeros 30 m de profundidad, (Figura 6).

La sección comparada con agosto de 1990 (año considerado normal) muestra las mayores anomalías de temperatura subsuperficial entre los 30 y 80 metros de profundidad ($\approx +6.0^{\circ}\text{C}$), (Figura 6).

La distribución de salinidad en relación con el año 90 muestra superficialmente un aumento de los valores en los primeros 10 metros y un núcleo de anomalías negativas de salinidad centrado en los 40 metros de profundidad entre 0° y 1°N , (Figura 6).

3. Marzo 98

A nivel superficial se distinguen la ATS ($T > 25^{\circ}\text{C}$, $S < 33.5$ UPS) y entre los 50 y 100 metros de profundidad ASS caracterizada por alta salinidad, (Figura 7).

Comparando la sección de temperatura con la del año 1.989 se observa un gran calentamiento en los primeros 100 metros. La termoclina (isoterma de 20°C) se encontró 50 m más profunda que la normal, (Figura 7).

La distribución de salinidad muestra anomalías negativas desde los 0 hasta los 40 m. de profundidad siendo las mayores al sur de 1°S . Un núcleo de anomalías positivas se distingue alrededor de los 80 m, (Figura 7).

DISCUSIÓN

El evento ENSO 97-98 por su naturaleza dinámica y térmica manifestada en el mar ecuatorial tuvo un comportamiento en que a pesar de presentar intensas anomalías positivas de TSM, TSA y NMM, las precipitaciones, durante los primeros meses del evento sobre la costa ecuatoriana no fueron considerables. Pero, en cambio, determinó que a partir de noviembre de 1997 se superponga con la fase más cálida del ciclo estacional lo cual generó una estación húmeda amplificada, anomalías de $+3.5^{\circ}\text{C}$ sostenidas por aproximadamente 1 año y que la TSM sobrepase el umbral de convección profunda (28°C) por más de 6 meses. Las precipitaciones mostraron niveles que en el caso de La Libertad superaron ampliamente las normales

En abril de 1998, tanto la estructura subsuperficial como el notable ascenso de la termoclina sugerían un próximo descenso de las anomalías. Sin embargo, esto no ocurrió produciéndose un repunte violento en el NMM sumado al mantenimiento sostenido de las anomalías de TSM, que rompieron el patrón de comportamiento del evento ENSO 1997-98 dándoles

características muy particulares que generaron una extensión dramática del evento hasta el término de la estación húmeda en la costa ecuatoriana y consecuentemente una prolongación de los drásticos efectos convectivos. Este nuevo aporte de energía producido probablemente por un inesperado tercer pulso Kelvin desde el Pacífico central significó que hasta el mes de octubre de 1998 las anomalías de TSM en el mar ecuatorial se mantengan alrededor de $+0.5^{\circ}\text{C}$, pese a que la estructura térmica subsuperficial y el NMM estaban prácticamente normalizados.

CONCLUSIONES

El evento ENSO 1997-98 presentó tres pulsos en su evolución que por su ocurrencia temporal y su intervalo permitió que los dos últimos máximos se superpongan al ciclo estacional sumándose las anomalías propias de evento a las altas temperaturas propias de la estación. Esto generó que sobre la costa del Ecuador las precipitaciones sean anómalas desde marzo de 1998 y posteriormente desde noviembre de 1998 hasta junio de 1998, en otras palabras una estación húmeda adelantada y prolongada dos meses.

De acuerdo con Martínez et al., (2000) el presente evento respondería al forzamiento de ondas interestacionales atmosféricas como la oscilación Madden Julian sobre el océano en forma de pulso Kelvin de 60-75 días de período y que se hicieran evidentes en las fluctuaciones de la termoclina durante el evento ENSO 1997-98.

El evento ENSO 1997-98 sobre el territorio ecuatoriano se convierte en el más fuerte del siglo, su duración aproximada desde febrero/97 hasta agosto/98 (15 meses), supera ampliamente al evento 1982-83 que tuvo una duración de 11 meses, Moreano et al. (1986). En cuanto a las anomalías registradas, el evento 82-83 tuvo valores más elevados en la TSM pero de corta duración, en cambio, en lo que respecta al NMM las máximas anomalías fueron alcanzadas durante el evento 1997-98. Las precipitaciones acumuladas durante el evento 1997-98 superan en más de 1090 mm al 1982-83 en Guayaquil. Estas precipitaciones considerables y de larga duración causaron efectos devastadores en el Ecuador.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), por el apoyo brindado a la investigación y provisión de los datos para la elaboración del presente trabajo.

Al Comandante y dotación del B/I ORION por su sacrificada labor durante las largas jornadas de trabajo en los cruceros oceanográficos.

A la Dra. María del Pilar Cornejo por sus acertadas sugerencias en la revisión crítica del presente manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- Acta de reunión, Mayo 1997, No. 2, Comité Nacional ERFEN
- Boletín de Alerta Climático No. 76, 77 y 78. Comisión Permanente del Pacífico Sur.
- Enfield, D., 1975. Oceanografía de la Región Norte del Frente Ecuatorial, Aspectos Físicos. Instituto Oceanográfico de la Armada, P. O. Box 5940, Guayaquil Ecuador.
- Espinoza, J., 1996. El Niño y sus implicaciones sobre el medio ambiente. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR, Vol. 8 No. 1, pp 115-134.
- INOCAR, 1989a. Informe científico, Crucero Oceanográfico CO-1-89. (Circulación interna). Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.
- INOCAR, 1990a. Informe científico, Crucero Oceanográfico CO-1-90. (Circulación interna). Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.
- INOCAR, 1996. Informe científico, Crucero Oceanográfico CO-1-96. (Circulación interna). Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.
- INOCAR, 1997a. Informe científico, Crucero Oceanográfico CO-1-97. (Circulación interna). Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.
- INOCAR, 1997b. Informe científico, Crucero Oceanográfico CO-2-97. (Circulación interna). Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador.
- Kessler, William S. and Michael J. McPhaden, 1995. Forcing of intraestacional Kelvin waves in the equatorial Pacific. J. Geophys. Res., 100, 10613-10631.
- Martínez, G. R., 1998. Estudio de ondas lineales barotrópicas en el litoral Ecuatoriano-Colombiano y la atmósfera tropical durante un periodo determinado. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR, Vol. 9 No. 1, pp 21-29.
- Martínez, G. R., E. Zambrano Q. y J. Garcés V., 2000. Predicción Del Evento El Niño 97-98 En El Mar Ecuatoriano Usando Métodos Estadísticos. (manuscrito no publicado).
- McPhaden, M. J., A. J. Busalacchi, R. Cheney, J. R. Donguy, K. S. Gage, D. Halpern, M. Ji, P. Jullian, G. Meyers, G. T. Mitchum, P. P. Niiler, J. Picaut, R. W. Reynolds, N. Smith and K. Takeuchi, 1998. The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system: A decade of progress. J. Geophys. Res., 103, 14169-14240.
- Moreano, H. R., E. Zambrano, R. T. de Suéscum y N. Paredes, 1986. El Niño 1982-83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatoriales. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR, Vol. 3 No. 1, pp 1-23.
- Neelin, J. D., D.S. Battisti, A.C. Hirst, Fei-Fei Jin, Y. Wakata, T. Yamagata and S.E. Zebiak, 1998. ENSO theory. J. Geophys. Res., 103, 14261-14290.
- Reynolds, R., 1982. A Montly Average Clymatology of Sea Surface Temperature. Technical Report NWS 31, National Meteorological Center. NOAA, Silver Spring, MD., pp 35
- Rivera, T., 1987. Nomenclatura de El Niño según el número índice de cinco estaciones costeras. CPPS Boletín ERFEN No. 21, pp 9-18.
- Zambrano, E., 1996. El Niño. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR, Vol. 8 No. 1, pp 109-114.
- Zambrano, E., 1998. Un análisis de la Estructura Termal de la Estación Costera "La Libertad" y su relación con los eventos ENOS. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR, Vol. 9, No. 1, pp 1-8.

TRACK DEL CRUCERO OCEANOGRÁFICO B/I ORION

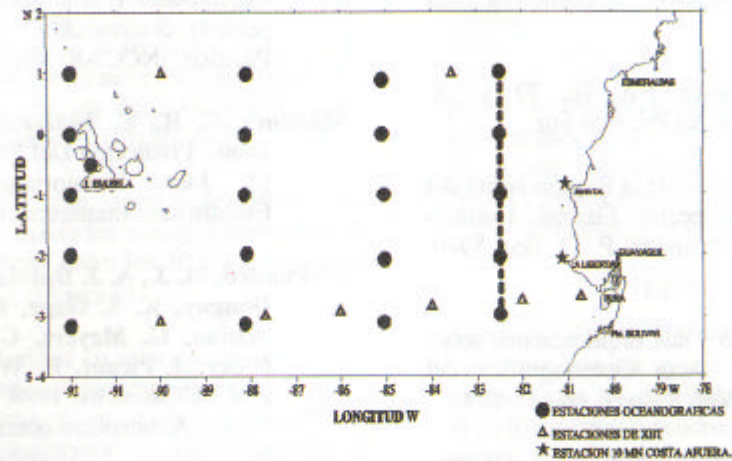


Figura 1.- Ubicación de las estaciones costeras y derrota del Crucero Oceanográfico seguida por el B/I ORION durante Abril y Agosto de 1997

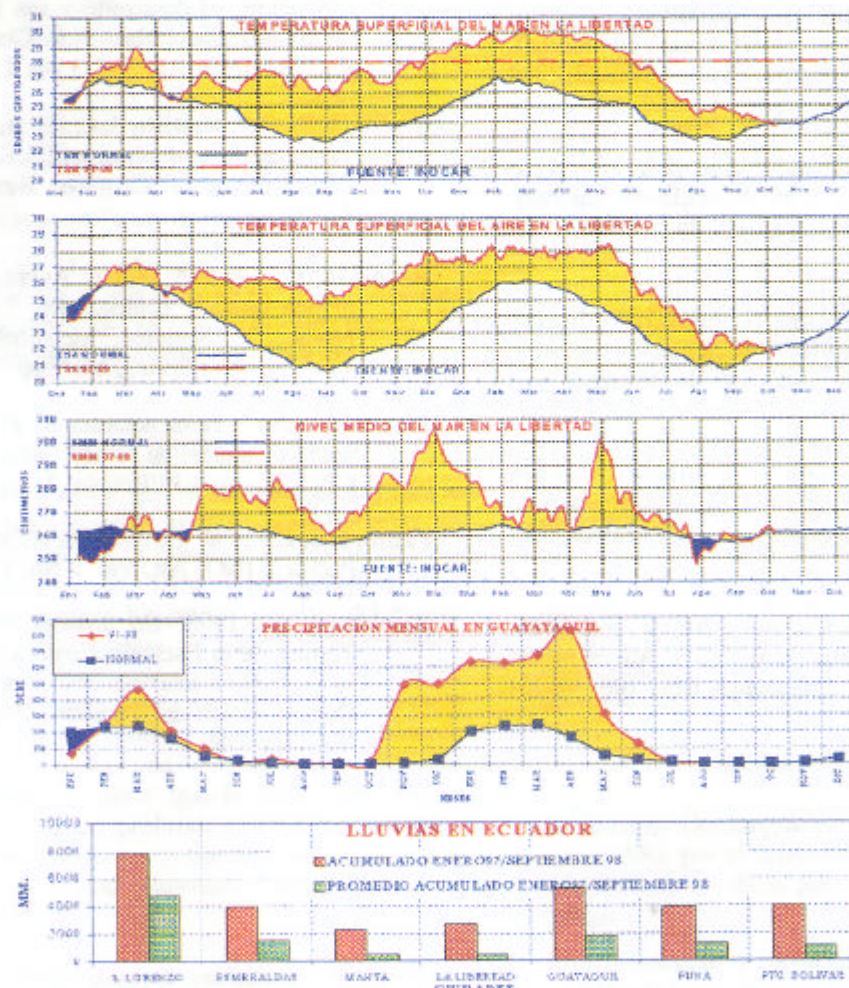


Figura 2.- Distribución temporal de Temperatura del mar, del aire, Nivel Medio del Mar y precipitación en el puerto de La Libertad. Acumulado de lluvias en varios puertos del Ecuador durante 1997-98.

Figura 3.- Distribución temporal de temperatura en la estación La Libertad a 10 millas náuticas costa afuera.

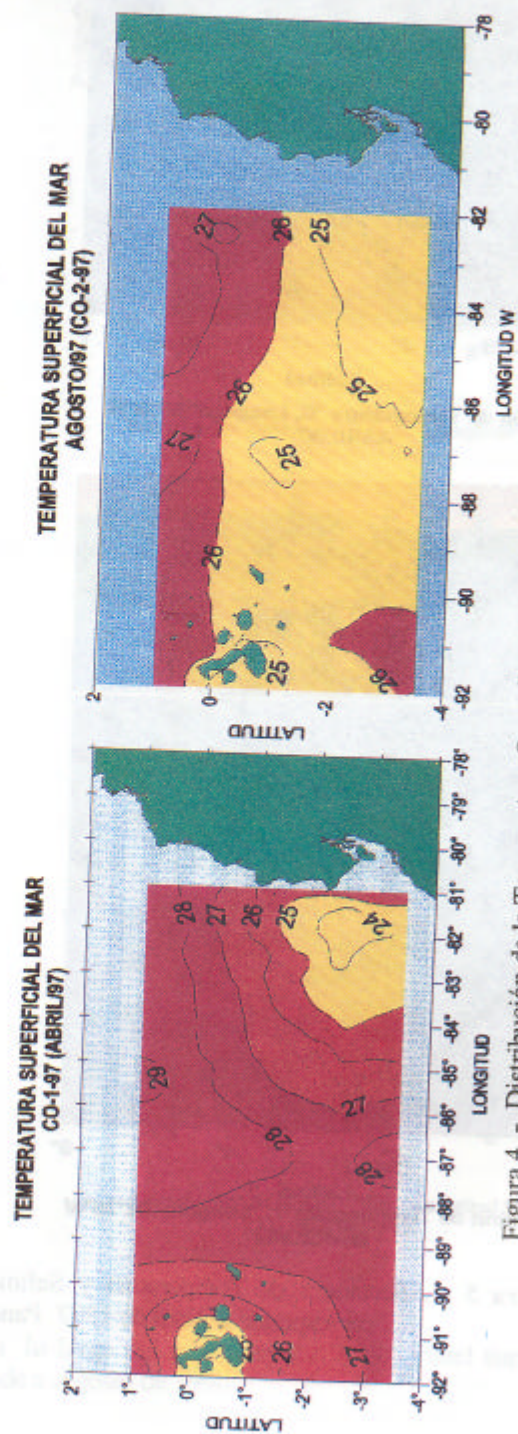


Figura 4.- Distribución de la Temperatura Superficial del Mar durante Abril y Agosto de 1997.

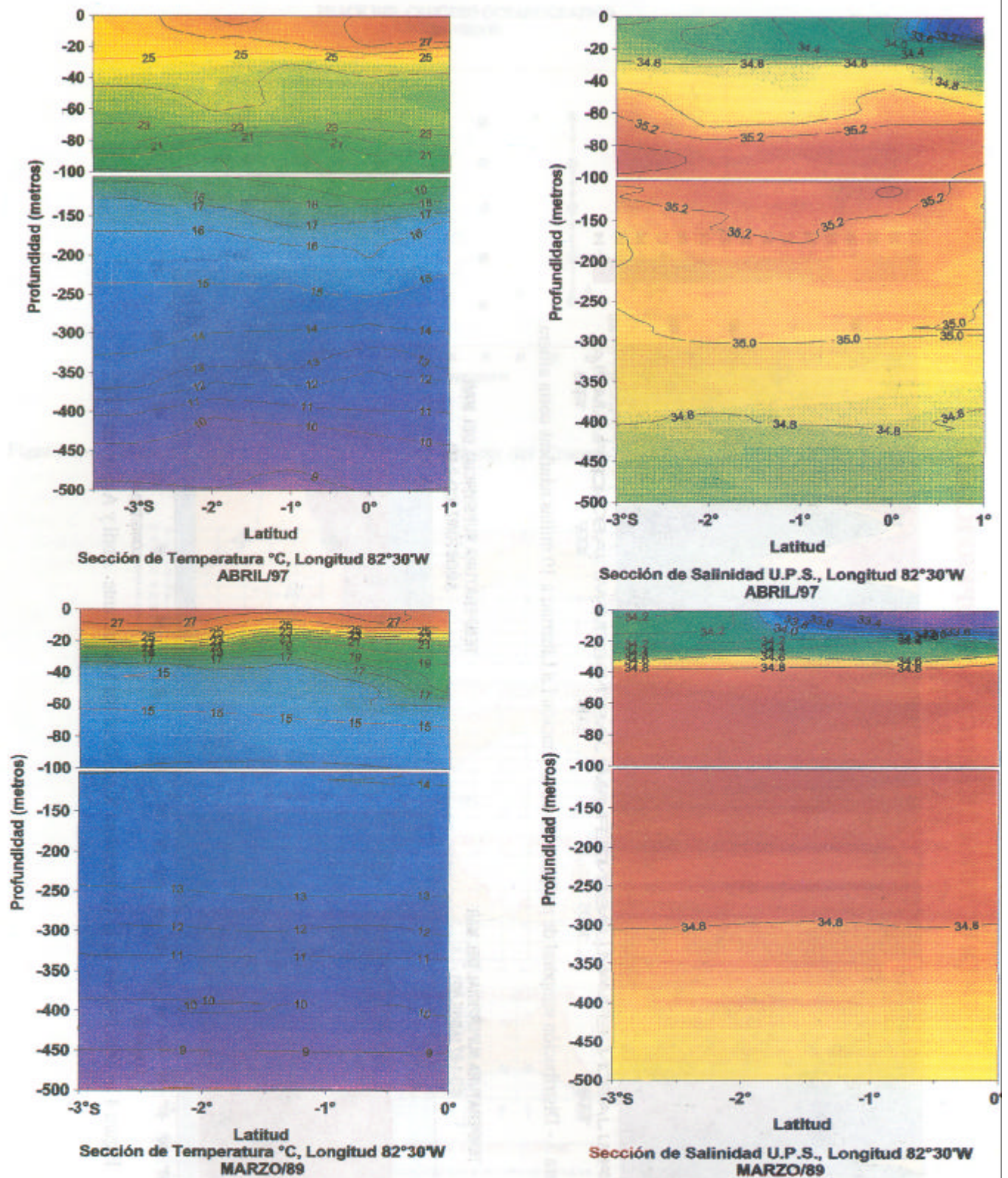


Figura 5.- Secciones de Temperatura y Salinidad a lo largo del meridiano 82°30'W. Panel superior corresponde a Abril de 1997. Panel inferior corresponde a Marzo de 1989.

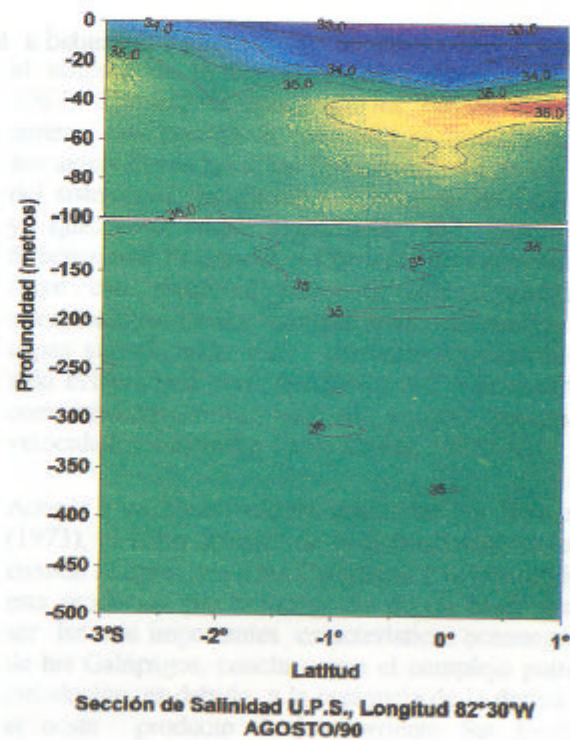
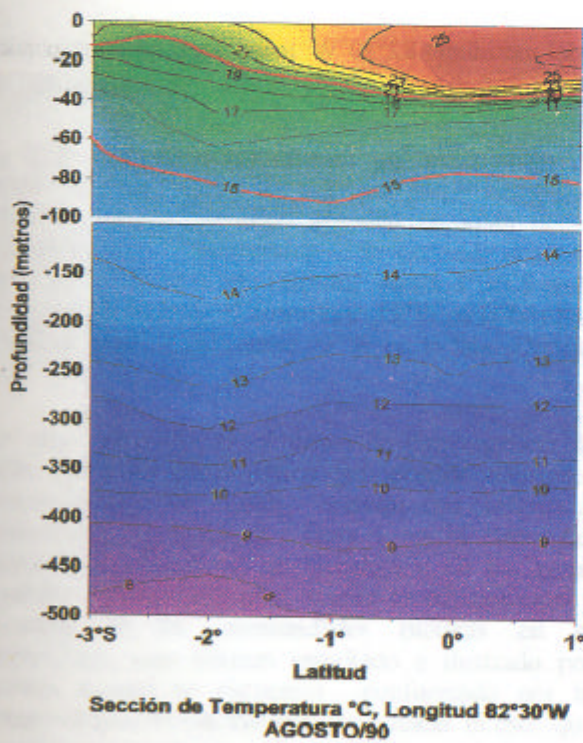
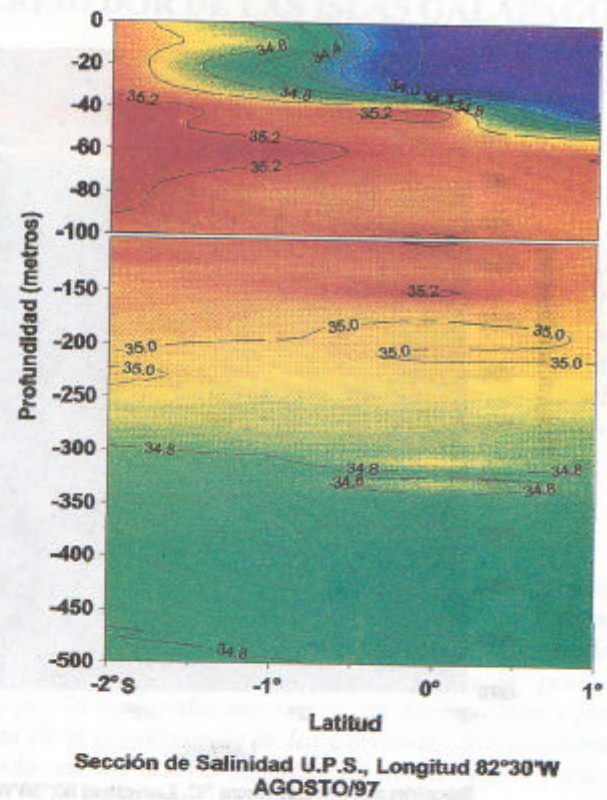
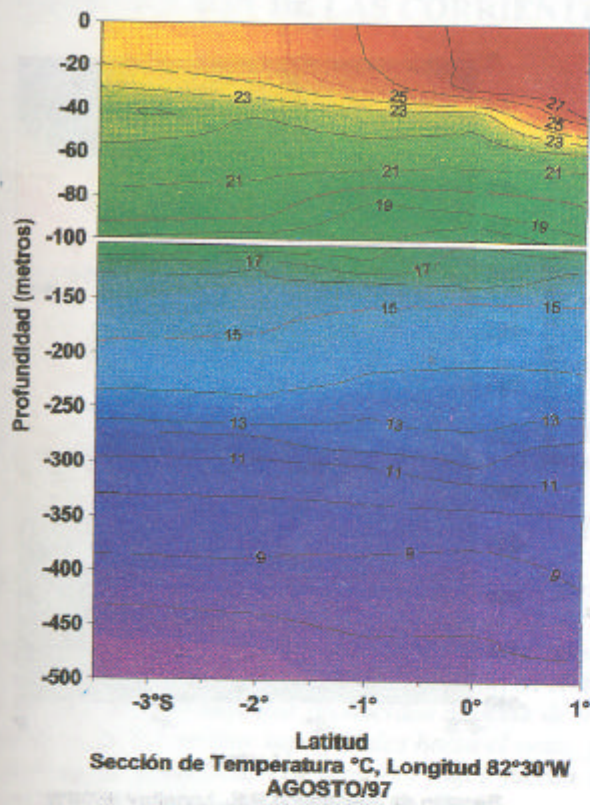


Figura 6.- Secciones de Temperatura y Salinidad a lo largo del meridiano 82°30'W. Panel superior corresponde a Agosto de 1997. Panel inferior corresponde a Agosto de 1990

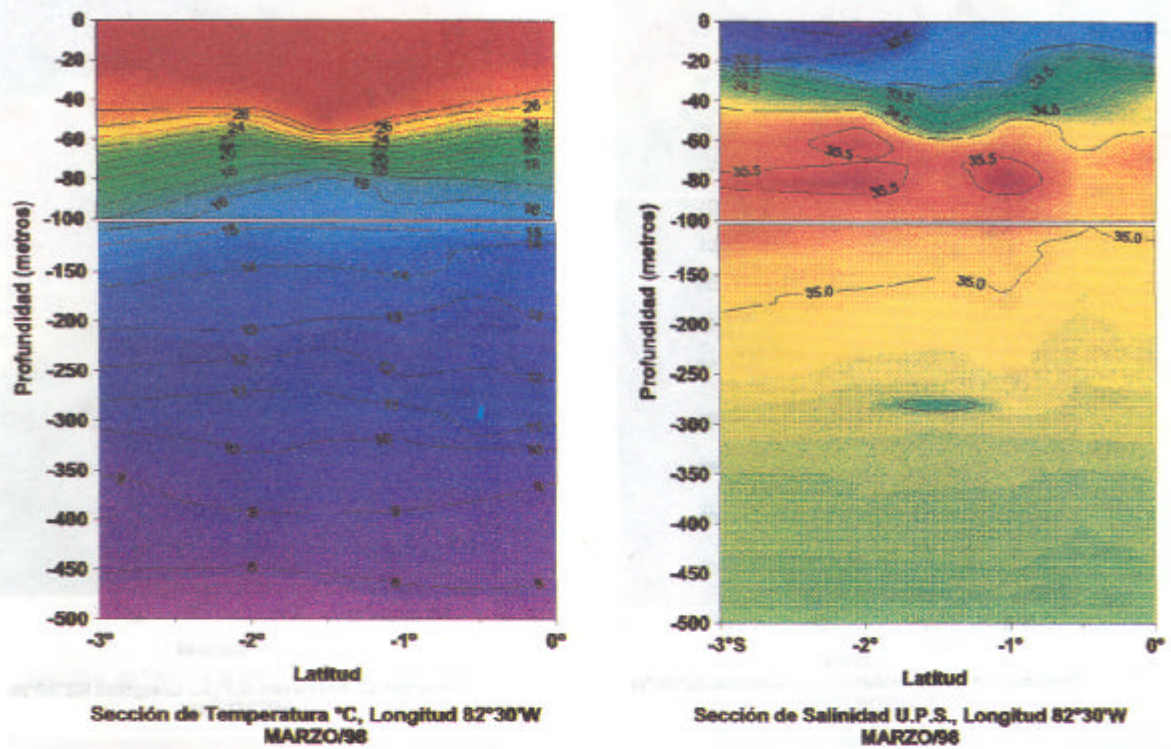


Figura 7.- Secciones de Temperatura y Salinidad a lo largo del meridiano 82°30'W. Panel superior corresponde a Marzo de 1998.