

THE EL NIÑO OF 1972-1973 IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN¹

by

Forrest R. Miller² and R. Michael Laurs³

ABSTRACT

Beginning in February 1972 the usual seasonal cooling of the surface water of the eastern Pacific Ocean in the region of the Peru Current and along the equator failed to develop. By July tropical coastal and equatorial island stations and ships crossing the equator were recording sea-surface temperatures which were 6° to 8°F (3.3°-4.4°C) above the long-term mean. The anomalies spread over most of the eastern tropical Pacific and westward into the central equatorial Pacific through September. During October surface temperatures at coastal stations along South America were returning to normal, but in November and December 1972 temperatures rose rapidly again, with a near-record temperature anomaly of 8.1°F (4.2°C) above the long-term mean recorded at Puerto Chicama, Peru (7°42'S-79°27'W). After January 1973 sea-surface temperatures began returning rapidly to normal over most of the eastern tropical Pacific, and by March 1973 the El Niño had completed its cycle.

Monthly sea-surface temperature anomalies over the eastern tropical Pacific are discussed to show the extent and magnitude of warming. Annual temperature profiles at several South American coastal and equatorial island stations are compared with temperature profiles for the 1957-1958 and 1965 El Niño years. Characteristics of the temperature anomaly profiles at Puerto Chicama during several very warm years for the 1925-1972 period are also compared. Finally, meteorological factors contributing to a relaxation of the southeast trade winds and to the decreased upwelling along the coast of South America in 1972-1973 are examined.

INTRODUCTION

Periodically large sections of the eastern tropical and subtropical Pacific Ocean undergo extensive cooling or warming in the surface layers. The large-scale anomalies, which last from several months to over a year, are thought to be manifestations of air-sea interaction processes which occur on a global scale. Anomalously warm ocean conditions, usually

¹This paper summarizes research performed as part of a fishing information program sponsored by the National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, California. Participation in this study by the Inter-American Tropical Tuna Commission was carried out under NOAA Contracts 03-4-208-59 and 03-5-208-83 with the National Marine Fisheries Service.

²Inter-American Tropical Tuna Commission, La Jolla, California 92037.

³National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, California 92037.

referred to as the El Niño phenomenon, prevailed over much of the eastern tropical Pacific during 1972-1973.

The objectives of this paper are: (1) to describe the extent and magnitude of the warming associated with the 1972-1973 El Niño by examining anomaly patterns of monthly sea-surface temperature over the eastern tropical Pacific; (2) to compare ocean thermal conditions during the 1972-1973 El Niño with those in other El Niño periods; and (3) to examine surface meteorological factors contributing to a relaxation of the southeast trade winds and to the decreased upwelling along the coast of South America in 1972-1973.

DATA SOURCES AND METHODS

As part of a fisheries oceanography research program directed toward fisheries prediction, ocean temperature conditions for the eastern Pacific between 30°S and 60°N have been monitored since 1960 by the National Marine Fisheries Service (NMFS), Southwest Fisheries Center, La Jolla Laboratory. Most of the data used in this paper have been obtained as part of this monitoring program.

The major source of data used in preparing the charts of sea-surface temperatures (Figure 1) and anomalies from the long-term mean (Figures 2-9) are the surface marine weather reports made by ships at sea. These reports are received by scheduled synoptic transmissions from U. S. and foreign merchant, fishing, and research vessels according to procedures established by the World Meteorological Organization. About 4,000 synoptic marine weather reports, containing sea-surface temperature (SST) observations, from the eastern tropical and subtropical Pacific Ocean are processed each month at the NMFS La Jolla Laboratory. A description of how observations are received and processed is given by Johnson, Flittner and Cline (1965). Although specific program details have been changed, the present methods are essentially the same as those described in that publication. The SST data for each month are averaged by 1-degree quadrangles and plotted by computer, and isotherm charts are produced by manual analysis.

Because the SST data are compiled principally from observations made by merchant and fishing vessels, the spatial and temporal distribution of data are concentrated along shipping lanes and over fishing grounds in the eastern tropical Pacific Ocean. SST data based on a 20-year mean (1948-1967) are used to provide background data in regions of sparse data. These data were computed from surface marine observations provided by the National Climatic Center, Asheville, North Carolina, through the cooperation of the NMFS Laboratory, La Jolla, California, Pacific Environmental Group, NMFS, Monterey, California, and the Fleet Numerical Weather

Central, U. S. Navy, Monterey, California. These long-term data are used also to prepare the monthly sea-surface temperature anomaly charts. The anomaly patterns are obtained by graphically subtracting the SST data from the long-term means for corresponding months.

This paper does not contain SST analyses for each month of the 1972-1973 El Niño. However, analyses for December 1971 and December 1972, representative of "cold" and "warm" years, respectively, are shown in Figure 1. The principal differences in the SST distribution between these "cold" and "warm" Decembers are most pronounced along the coast of South America and over the equatorial area. For example, monthly mean SSTs at shore stations along the South American coast ranged from about 59° to 61°F (15.0°-16.1°C) in December 1971 and from 63° to 72°F (17.2°-22.2°C) in December 1972. Also, in 1971 there was a strong thermal gradient in a narrow band 200-250 km wide parallel to the Peruvian shoreline and extending to about 2°S, where it abruptly turned eastward to intersect the coastline. The southern portion of the gradient was more diffuse and not as well defined as in the northern part. In 1972, by contrast, the thermal gradient was weaker and located farther south (mostly south of 10°S) than in 1971. Also the southern end of the gradient was better defined in 1972 than in 1971. In addition, the area of the eastern tropical Pacific occupied by waters with surface temperatures warmer than 80°F (26.7°C) was considerably greater in December 1972 than in December 1971.

Analyses of SSTs for other months are provided by Laurs (1972-1973). Surface temperatures, measured with bucket thermometers, from coastal stations between 5°S and 20°S provided by Living Marine Resources, Inc. (LMR), San Diego, California, were used to construct Figure 10.

Early in 1972, as sea temperatures began to rise, an attempt was made to monitor the broad-scale strength of the southeast trade winds off the coast of South America in relation to the surface warming in the Peru Current. Because reports of surface winds were very sparse along the coast, twice daily surface-pressure charts were used. From these charts, provided by the National Weather Service, Washington, D. C., a pressure gradient index was prepared. The gradient was obtained from the daily charts by subtracting the surface pressure at a coastal station in Peru near 16°S and a point at 30°S-90°W (approximately the center of the southeast Pacific high cell). Weekly averages of pressure gradient were plotted against the long-term mean pressure gradient between the same locations.

GENERAL INFORMATION ON EL NIÑO

To fishermen and coastal villagers of Central and South America, notably Ecuador and Peru, El Niño has meant unusually warm coastal

waters, red tide, poor fishing, and frequent, torrential rains all culminating usually in December. Although El Niño is a colloquial term with a religious connotation (El Niño refers to the Christ child, a name chosen because of the culmination of this phenomenon near the traditional date of Christmas) its original meaning apparently is not known. Other names given to this abnormal oceanographic-meteorological phenomenon are: *El Pintor* or *Callao Painter* which refers to the blackening of the hulls of boats and of houses by hydrogen sulfide released from decomposition of marine organisms (Wooster, 1960); *Aguaje* which probably means both flooding from rains and occurrence of red tide which usually occurs simultaneously along Peru and Ecuador from December to February during El Niño years (A. Alvaríño, NMFS, La Jolla, Calif., pers. comm.); and the *Corriente del Niño* or *Holy Child Current* identified by seafarers as a southward-moving current occurring near the end of the year, in contrast to the Peru Current which normally moves northward (James, 1953; Hawken, 1973).

In years of very weak El Niños or non-El Niño years, the cool Peru Current perpetuates a cold northward drift under extensive low, stratus clouds, a desert climate extends from Chile to southern Ecuador, and tropical rains are confined to the equatorial zone north of 5°S. In contrast, El Niño years are associated with a major shift in the atmospheric pressure systems extending from South America to at least the central South Pacific. Beginning in the southern winter of one year, extensive heat exchange from the warm coastal waters induces tropical-like rains and frequent flooding along coastal plains. This condition abates somewhat during the southern spring; but when coastal atmospheric pressures remain low heavy rains and sluggish southeast trade winds follow, and a second peak in the high sea temperature of the Peru Current occurs during the following summer. As the El Niño warming approaches its peak, the coastal fishery for anchovetas, *Engraulis ringens*, becomes erratic, with lower catches, while tropical species become more abundant and invade coastal waters to southern Peru at times (Wooster, 1960).

In the last 50 years, sea-surface temperature records reveal that El Niño conditions prevailed along the coast of South America in 1925, 1930, 1939, 1941, 1943, 1951, 1957, 1965, 1969 and 1972. There is an indication that there has been a 15- to 16-year cycle in the largest positive SST anomalies which have occurred at coastal stations in Peru and Ecuador during El Niño periods in 1925, 1941, 1957 (Berlage, 1966; Quinn and Burt, 1970), and most recently in 1972. Stevenson, *et al.* (1970) also noted that the literature indicated peaks in El Niño conditions at 6 and 16.5 years at coastal stations in Peru and Ecuador.

Literature regarding El Niños prior to the 1950's is primarily descriptive, and contains references to the warm Peru Current, primarily (Murphy, 1926; Schott, 1931; Gunther, 1936). Apparently, the evidence regard-

ing the effects of warming on the physical properties of the Peru Current or the effects on the flora and fauna therein was limited to the immediate coastal areas.

HYPOTHESES ON THE ORIGIN OF EL NIÑO

Research on past El Niños suggests three general hypotheses on the origin of the relatively warm and low salinity water which periodically invades or is found at the surface of the Peru Current off South America during El Niño years. Currie (1953) and Bjerknes (1966) suggested that strong northerly winds sweep southward in the Gulf of Panama and east of the Galapagos Islands and the inter-tropical convergence zone is displaced into the southern hemisphere. This leads to a southward advection of the warm, low-salinity equatorial water and a breakdown of the equatorial ocean front off Ecuador when the southeast trade winds become weak off the coast of South America. Schott (1931) and James (1953) hypothesized an eastward advection of the warm water which is always found south of the Galapagos and west of the Peru Current. There is some evidence according to M. Tsuchiya (Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, Calif., pers. comm.) to show that surface water can be displaced eastward between 5°S and 10°S where the South Equatorial Countercurrent may rise to the surface east of 110°W at times when the southeast trade winds decrease in the El Niño years. Stevenson *et al.* (1970) noted that on two occasions (April-June and October-December, 1965) warm surface water of high salinity penetrated to within 80 miles of the coast between 8°S and 10°S. They suggest that this eastward flow was associated with the South Equatorial Countercurrent, and that this current may have transported warm water very close to the coast during El Niño periods. According to Sears (1954) and Wooster (1960), when the southeast tradewinds decrease and vertical mixing or upwelling becomes minimal in the Peru Current and its equatorial extension, *in situ* heating occurs over the Peru Current because of less stratiform cloudiness. In addition, insolation is at a maximum during the southern hemisphere summer when El Niño conditions are most intense. It is known that larger amounts of rain fall from convective clouds over Ecuador and Peru and adjacent ocean regions of the Peru Current in warm years (Bjerknes, 1961). Greater amounts of moisture are carried into the atmosphere and fall out in the form of heavy showers. This may account, in part, for the areas of lower-salinity surface water which occur along the coast during an El Niño.

A discussion of the surface and subsurface ocean properties of the Peru Current during the 1965-1966 El Niño is presented by Stevenson *et al.* (1970). They also present a review of the literature regarding possible sources of warm water found along the coast of South America during El Niño years.

Wooster (1960) hypothesized that, "During El Niño years, there is a general weakening of the atmospheric circulation in the marine layer, and reduction in the wind-stress component parallel to the coast is responsible for a weakening or cessation of upwelling." He concludes that El Niño is a generic term with an application not only to the Peruvian coast but to the west coast areas of California, southwest Africa, western Australia, and Vietnam.

Bjerknes (1966) in discussing the weather ramifications of the 1957-1958 El Niño emphasized that, "El Niño is a summer phenomenon of the southern hemisphere and the high sea temperature measured in that season is a by-product of the annual insolation maximum, especially in the trade-wind belt where there is little cloud Weakness of the tradewinds has more sudden and spectacular ocean effects in terms of temperature induced by the cessation of upwelling Whenever an area of upwelling water happens to be covered up by the invasion of warm surface water, the atmosphere is exposed to a new heat source creating vertical convection exchange and rainfall."

The presence of large pools of warm water between 5°S and 10°S during the southern summer was pointed out by Wyrski (1964). He noted that detailed data and analyses revealed the existence of a warm tongue of water west of and adjacent to the cold Peru Current. Wyrski emphasized that these isolated areas of higher temperatures could not be caused by advection, and that local heating was important because colder water usually surrounds the warm-water pockets during non-El Niño years. Sea-surface temperature analyses presented by Laurs (1972-1973) revealed that the warm-water areas described by Wyrski extended eastward to the coast of Ecuador in the southern spring and summer of 1972. During cold years the warm-water areas usually remain 400 to 500 km off the coast. Wooster and Guillén (1974) also noted the warm tongue of water during the 1972-1973 El Niño.

Berlage (1966) suggests that the slowing down of the Peru Current is related to the "Southern Oscillation" wherein the atmospheric pressure in the southeast Pacific high-pressure cell decreases and the pressure becomes relatively high over Indonesia. In this situation the general atmospheric and hydrospheric circulations throughout the south Pacific Ocean are decelerated. Subsequently, the Peru Current becomes weaker, and relatively warm water along the Peru coast is fed into the South Equatorial Current. Berlage also explains that high pressures in the eastern part of the South Pacific and low pressures over Indonesia induce an accelerated "Southern Oscillation." In this case the Peru Current and southeast trade winds become stronger and sea-surface temperatures are reduced. Quinn and Burt (1970) also concluded that the El Niño is related to large-scale ocean-atmosphere anomalies associated with the Southern Oscillation which

brings about unusual interhemispheric interactions in the equatorial Pacific. Periods of abnormally large amounts of rainfall over the equatorial dry zone west of 140°W have been associated with El Niño conditions that began earlier in the year east of the Galapagos Islands according to Quinn and Burt (1970, 1972).

OCEAN TEMPERATURE CONDITIONS DURING THE 1972-1973 EL NIÑO

Sea-surface temperature conditions over much of the eastern tropical Pacific during February 1972 to April 1973 followed a pattern in which (1) there was rapid warming from below-normal to above-normal temperatures, followed by (2) a slight shift to near-normal temperatures, then (3) a second period of rapid warming to well-above-normal temperatures which persisted for several months, and finally (4) a rapid return to normal or cooler-than-normal temperatures. In general, the changes in the sea-surface temperature patterns were more complex along the coast of South America and westward to the Galapagos Islands than they were farther offshore. Also, the rates of temperature change and their departure from normal were often larger along the coast than they were in offshore equatorial waters. The deviations from the long-term mean of sea-surface temperature over the eastern tropical Pacific for January 1972 through April 1973 are shown in Figures 2 through 9.

The initial warming period

Colder-than-normal ocean temperatures persisted generally over much of the eastern tropical Pacific from about late 1969 to January 1972 (anomaly chart for January 1972 shown in Figure 2a). A shift toward warmer ocean temperature conditions, which subsequently led to the 1972-1973 El Niño, was indicated in February 1972 (Figure 2b) when water temperatures 100 to 300 miles southeast of the Galapagos Islands increased as much as 6°F (3.3°C) from the previous month. Warming also weakened the below-normal temperature conditions which had persisted for many months along the equatorial zone westward to 145°W . The warming continued and was more prominent in March 1972 (Figure 3a) when positive temperature anomalies occurred in most of the equatorial zone from the coast of South America to 145°W . Negative deviations from the long-term mean persisted west of this longitude, but with reduced magnitudes. Temperatures in the areas off Guayaquil, Ecuador, and along the equator from 120°W to 140°W were 6°F (3.3°C) higher in March 1972 than in March 1971.

The warming trend which occurred in February and March 1972 appeared to be related to lighter-than-normal winds which reduced upwelling and to less-than-normal cloud cover, and to increased solar radiation.

These atmospheric conditions were associated with a southwestward shift of the southern hemisphere high pressure center and southward shift, by 5° of latitude, of the intertropical convergence.

A return toward normal

Higher-than-normal temperatures continued during April 1972 (Figure 3b) between South America and the Galapagos Islands from 5°N to 10°S and extended northward into the Gulf of Panama. However, no significant intensification of the warm condition occurred; in fact, temperatures close to shore along the Ecuadorian coast returned to near normal. During May (Figure 4a), sea-surface temperature along a narrow strip of the coast of South America from the equator to 10°S returned to near normal. Farther off the coast from about 80°W to 88°W temperatures remained above normal, but the magnitude of the deviation and the extent was not as large as during the prior month. Temperatures between 5°N and 5°S from the Galapagos Islands to 120°W were as much as 4°F (2.2°C) above normal.

The lowering of sea-surface temperatures along the South American coast during April and May 1972 was related to the partial re-establishment of the subtropical high-pressure center off South America and to the subsequent development of the southeast winds along the coast which apparently induced coastal upwelling. Offshore the southeast tradewinds remained weak and the warming along the equator appeared to be related to the relaxation of the upwelling that usually takes place there.

A second warming period

A second period of rapid warming began in June 1972 (Figure 4b). Pronounced warming took place along the coast of South America, out to 120°W , except for a small area off Ecuador. Between 80°W and 90°W temperatures were as much as 6°F (3.3°C) above normal. Extensive warming was also evident in the area west of 140°W between 5°S and 5°N and a bulge northward to the Hawaiian Islands between 160°W to 175°W . During July 1972 (Figure 5a) there was a marked increase in the area and intensity of the anomalously warm ocean temperatures. These prevailed along the coast of South America, except for a very small area off Lima, Peru, from below 10°S northward into the Gulf of Panama and in a continuous band along the equator to 180°W (and probably beyond). The magnitude of the positive deviations exceeded 8°F (4.4°C) in several areas along the equator from 100°W to the coast of South America.

The El Niño conditions continued during southern spring months and through January 1973, with anomalously warm waters occurring generally along the coast of South America and extending in a band between about 10°S and 10°N westward to 170°W (Figures 5b-8b). Between the coast and 90°W the positive anomalies ranged from 2° to 8°F (1.1° - 4.4°C) with values of 4° to 6°F (2.2° - 3.3°C) predominating during most months. There

were also periods when in certain coastal regions monthly mean temperatures returned to normal, *e.g.* off northern Peru and Ecuador in October 1972 (Figure 6b), and off central Peru in November 1972 (Figure 7a). In waters along the equatorial zone between 10°S and 10°N and westward of 90°W the positive temperature anomalies ranged from 2° to 8°F (1.1°-4.4°C) with values of about 4°F (2.2°C) predominating. There was a northward expansion of the warm-water anomaly over much of the eastern tropical Pacific during October to December 1972 (Figures 6b and 7b) with 2° to 4°F (1.1°-2.2°C) positive deviations observed off the coast of Mexico. The magnitude of the anomaly during September 1972 (Figure 6a) was slightly less than that during the preceding or succeeding months. This appeared to be related to the partial re-establishment of the southeast tradewinds which caused upwelling and air-sea interaction processes to slightly cool ocean waters.

An End to El Niño conditions

During February 1973 (Figure 8b) the extent and magnitude of the positive temperature anomaly decreased markedly from what it had been during the previous several months, and it was apparent that the El Niño was nearing an end. Water temperatures in a narrow strip along the South American coast, except for a small area off northern Peru and Ecuador, had returned to normal or slightly below normal. Also the band of anomalously warm water which had extended for several months along the equator was broken between about 120°W to 145°W. The magnitude of the anomaly had decreased for the most part to about 2°F (1.1°C) above normal, with only small areas reaching 4°F (2.2°C) above normal. By March 1973 (Figure 9a) only small broken patches of anomalously warm water remained. The El Niño had ended by April 1973 (Figure 9b), when normal or below-normal ocean temperature conditions were apparent along most of the coast of South America and in the offshore equatorial zone.

SIMILARITIES IN OCEAN TEMPERATURE DURING RECENT EL NIÑOS

While the intensity, duration, and areas of maximum influence show some variation, coastal and island station SST data indicate that the trends of the anomaly patterns in ocean temperature have been similar during periods of well-developed El Niños.

Figure 10 is a time section of SST anomalies based on data for Puerto Chicama, Peru, from January 1925 to January 1969 obtained from LMR. After January 1969 the data for Chimbote, Peru, were used and statistically adjusted for Puerto Chicama. These data are considered to be representative of coastal sea-surface temperature conditions along the coast of Ecuador and Peru. In Figure 10 the data have been realigned to show

similarities in anomaly patterns during the more pronounced El Niño years; therefore there are interruptions or repetitions in the data in some years. Several features are evident from Figure 10. In most cases, except 1930 and 1939 to 1941, the southern spring and summer preceding an El Niño were much colder than usual, with coastal waters off Peru significantly below the long-term mean for periods of more than 12 months. Also, the positive anomalies for the strong El Niño years of 1925, 1941, 1957, 1965, and 1972 were all bimodal. One anomaly peak occurred in the fall or early winter and another occurred at the end of the year or the beginning of the next. In the weaker El Niño years of 1930, 1943, 1951, 1953, and 1969, one of the anomaly peaks, usually the one occurring in the southern summer (December-January), was either depressed or absent. By September or October of both strong and weak El Niño years, the positive anomaly reached a minimum value. This occurs in the southern spring when sea-surface temperatures in the Peru Current are at a minimum. During the 1972-1973 El Niño maximum, positive anomalies at Puerto Chicama (Chimbote) occurred in May 1972, 5.8°F (3.2°C) and December 1973, 8.3°F (4.6°C), and the minimum positive anomaly occurred in October 1972, 2.0°F (1.1°C).

Bimodal peaks in the positive SST anomalies which are similar for 1957, 1965, and 1972 are graphically portrayed in Figure 10. Because of the apparent similarities among these three warm years, it is appropriate to examine in greater detail than is shown in Figure 10 seasonal SST profiles for other South American coastal and equatorial stations. In addition, the departures of each yearly temperature profile from the long-term mean are reviewed in the following paragraphs.

In Figures 11 and 12 are shown the seasonal changes in sea-surface temperatures and their departures from long-term means for 1957-1958, 1965-1966, and 1972-1973 for two South American coastal stations and two equatorial island stations. The mean seasonal curves have been constructed from data published by the National Ocean Survey (NOS) for Pacific island and coastal stations (Jones, 1970). The 1957 and 1965 data for Chimbote, Peru (9°S), Arica, Chile (18°S), Christmas Island (2°N-157°W), and San Cristobal, Galapagos Islands (2°S-90°W), were obtained from the NOS publication. During 1972 SST data for Chimbote and Ilo, Peru (Ilo is near Arica, Chile, which had no 1972 SST data), were provided by LMR. Because SST data for the two equatorial island stations (Figure 12) were not complete in 1972, estimates of the monthly SST values, based on long-term means and anomalies at each place, have been determined from the monthly analyses of Laurs (1972).

From Figure 11 it can be seen that the SSTs in 1957-1958 remained well above the mean for the entire period at Chimbote and above the mean after February at Ilo. During 1965 the SST profiles were similar to those

in 1957. In 1972 the SST values at each station remained below or near the long-term mean until April or May. Thereafter they continued above the long-term mean until October, when the SSTs decreased to the long-term mean at Chimbote and below the mean at Ilo. As the southern summer (October) approached, SSTs north of 10°S increased faster than the long-term mean and reached a peak in January 1973. It is estimated that the largest departure from the long-term mean was reached along the coast south of Guayaquil (5°S), where the anomaly was about +9°F (5°C) in January 1973.

In Figure 12, a small annual SST variation at Christmas Island and a large one at San Cristobal (Galapagos Islands) are evident. In all three El Niño years the SST curves were above the mean in the Galapagos area in February, and they did not return to the mean until after February of the following year. In the Galapagos Islands area the 1972 and 1965 departures from the mean were very similar to those in 1957-1958. At Christmas Island the significant departures of SSTs from the mean took place after June. Quinn and Burt (1970) emphasized the delayed warming at Christmas Island.

ATMOSPHERIC INFLUENCE OF THE 1972 EL NIÑO

During periods of El Niño there are periodic relaxations or decreases in speed of the southeast tradewinds off South America, particularly south of 15°S, which result in a decrease in the surface wind stress needed to maintain vertical mixing and upwelling in the relatively weak Peru Current. This phenomenon is related to large-scale changes in the atmospheric circulation whereby the subtropical high-pressure center near 30°S-90°W is frequently displaced by storms which move closer to the equator in El Niño years. Near the mainland variations in coastline configurations combined with local land-sea thermal gradients may create conditions more or less favorable for local wind stresses and vertical ocean mixing. In warm years coastal thermal gradients and local winds are weakened in an already sluggish southeast tradewind regime. Vertical mixing in the Peru Current is markedly reduced and surface layers are no longer cooled effectively by cooler, deeper water.

Because the atmospheric circulation over the South Pacific plays an important role in maintaining or diminishing wind-induced upwelling in the Peru Current, variations in the sea-surface pressure gradient were examined between 30°S-90°W, near the climatological center of the southeast Pacific high cell, and a station on the coast of Peru at 16°S. The anomalies in the pressure gradient provided a weekly index of the general strength of the southeast tradewinds over part of the Peru Current. Pres-

sure data were extracted from global, surface pressure charts prepared twice daily by the National Weather Service (NWS), Washington, D. C.

During the 1972-1973 El Niño, two principal surface-pressure patterns prevailed over the eastern part of the south Pacific. For periods of 7 to 14 days the southeast tradewinds were relatively steady and strong. In Figure 13a is shown a surface-pressure analysis prepared by the NWS in which the southeast Pacific subtropical high pressure center was the dominant feature off the coast of South America during the middle part of July 1972. Pressure patterns of this type produced pressure gradients typical of those periods when the southeast tradewinds south of 15°S were of sufficient strength to induce vertical mixing and maintain upwelling in the Peru Current. In contrast, there were frequent periods of 15 to 20 days in 1972-1973 when low-pressure centers and weather fronts moved toward the coast between 20°S and 30°S . An example of this situation is shown in Figure 13b. Successive passages of low-pressure areas eastward past 30°S - 90°W caused a breakdown in the subtropical high-pressure center over the southeast Pacific and the southeast tradewinds were markedly diminished. During cold or non-El Niño years, weather fronts and low-pressure centers usually swing poleward near 30°S and west of 100°W , and the southeast high remains intense. Wooster and Guillén (1974) pointed out that at Lima, Peru, and elsewhere along the coast, surface pressures were lower than normal in 1972, which was consistent with the southward displacement of the inter-tropical convergence zone during El Niño periods. It appears that in 1972 the weather systems had more equatorward trajectories because most probably the major upper-air steering currents or jet streams over the southern hemisphere were shifted out of their usual positions most of the year. Recently Krueger and Winston (1974) examined anomalies in the equatorial flow of the upper air over the eastern Pacific. They showed that the equatorial easterlies were usually weak from the surface through 700 mb (about 3.5 km), and the southeast tradewinds were reduced south of 20°S off the coast of South America in association with increased (anomalous) cyclonic stream flow west of 90°W at the 700-mb level. Namias (1972) noted that in the North Pacific, based on 20 years of data (1947-1966), the 700-mb height anomalies and SST anomalies have high negative correlations, and that similar teleconnections exist over the Pacific between the sea-surface temperatures and the 700-mb heights.

Figure 14a shows that alternating periods of above-normal and below-normal pressure gradients occurred frequently off the coast of South America beginning in January 1972. Apparently, the large reduction in pressure between 30°S - 90°W and the coast of northern Chile and Central Peru during March, April, June, August, and November 1972, caused enough relaxation in the southeast tradewinds to keep upwelling to a minimum in the Peru Current, even though there were also shorter periods when

the pressure gradient was well above normal. Monthly mean pressures from the 1957-1958 International Geophysical Year revealed a reduction in the pressure gradients off South America similar in time to those in 1972 (Figure 14).

If the pressure gradient data for 1972-1973 shown in Figure 14a are averaged over each month the resultant curve, showing departure from the normal (long-term mean) pressure gradient, shows seasonal changes similar to the 1957-1958 pressure gradient curve. Although the pressure gradient index in Figure 14 provides only a crude index of the strength of the southeasterlies off South America, it does indicate that frequent interruptions or relaxations of the wind stress on the Peru Current occur in El Niño years, and that these relaxations are reflected in the sea-surface temperatures of South American coastal stations.

In Figure 14b, the departures of SST from the long-term mean SST at Puerto Chicama are displayed to show the correspondence with fluctuations in the pressure gradient. Large negative SST departures appear to follow an above-normal pressure gradient in the late 1971 southern summer season. A sharp increase in the SST at Puerto Chicama is evident after mid-February, corresponding in time to large, negative-pressure departures off the coast of South America. Thereafter, the pressure gradient relaxed for long periods, particularly in June and August 1972 (Figure 14a). The largest SST departures from the long-term mean are found during this period (Figure 14b). After September the periods of weaker southeast tradewinds were much shorter, and the SST was near normal until late November. The second and most pronounced warming occurred in December, following a sharp reduction in pressure gradient. At this time two short increases in pressure gradient apparently reflected only temporary increases in the southeast tradewinds. The end of coastal warming and start of rapid cooling are apparent after February 1973, 1 year after the El Niño began.

CONCLUDING REMARKS

In 1972-1973, as in other El Niño periods, the ocean warming trend began in the Peru Current area off Ecuador and Peru and spread westward and poleward in both hemispheres with the onset of southern winter. By this time, the major high-pressure troughs and ridges apparently shifted from their normal positions, in the southern hemisphere allowing a succession of mid-latitude low-pressure systems to penetrate into the tropics of the southern hemisphere. This resulted in a reduction in surface-pressure gradients over a large portion of the eastern south Pacific and consequent slackening of the southeast tradewinds along the coast of South America, north of 15°S, and across the equator. Due to the relaxation of the southeast tradewinds, upwelling was diminished and other air-sea

interaction processes were affected to the extent that the surface of the Peru Current and its equatorial extension warmed to above-normal temperatures.

The cause(s) of the anomalous changes in the ocean and atmosphere over the South Pacific is (are) not entirely understood, and much research is required to determine the extent of ocean-atmosphere exchange during an El Niño. It is quite probable that once the equatorial warming begins, the atmosphere becomes transformed locally by the increased sensible heat available from the ocean. As a result, low cloudiness diminishes over the Peru Current and a greater amount of solar energy reaches the ocean surface.

In the future, satellites positioned over the equatorial area should be able to assist in the detection of the onset and extent of El Niños by frequently collecting data on the earth's temperature and clouds. For example, satellite data from ATS3 and NOAA2 revealed a significant reduction in low-level stratus clouds along the coasts of Ecuador and northern Peru during the 1972-1973 El Niño. Thin strato-cumulus clouds with large breaks in the cloud cover were usually seen from satellite photographs in 1972, when the positive SST anomalies were large along the coast of South America. At times when the Peru Current region was cool, a thick layer of stratus clouds usually extended westward and equatorward over the cold water. Quinn and Burt (1970) also pointed out the potential use of satellite data in monitoring El Niño conditions.

The 1972-1973 El Niño was intense, and its effects were widespread along the South American coast. For example, weather and fishing for anchoveta were apparently affected markedly by the warm-water conditions. Along the coast of South America heavy tropical rains began falling in December 1971 and spread southward as the El Niño developed. At Guayaquil, Ecuador, rainfall averaged 11 inches (275 mm) per month between January and April 1972, which is 10 times the normal monthly rainfall. Tropical rains abated somewhat during April and May from Ecuador to Peru, but increased again sharply in June along the coast of central Peru. There was another lull in tropical rains from August to November. However, as the ocean temperatures of the Peru Current rose to a high in December 1972 and January 1973, tropical rains resumed again (701 mm fell at Guayaquil in January 1973) and caused much flooding in Peru and Ecuador.

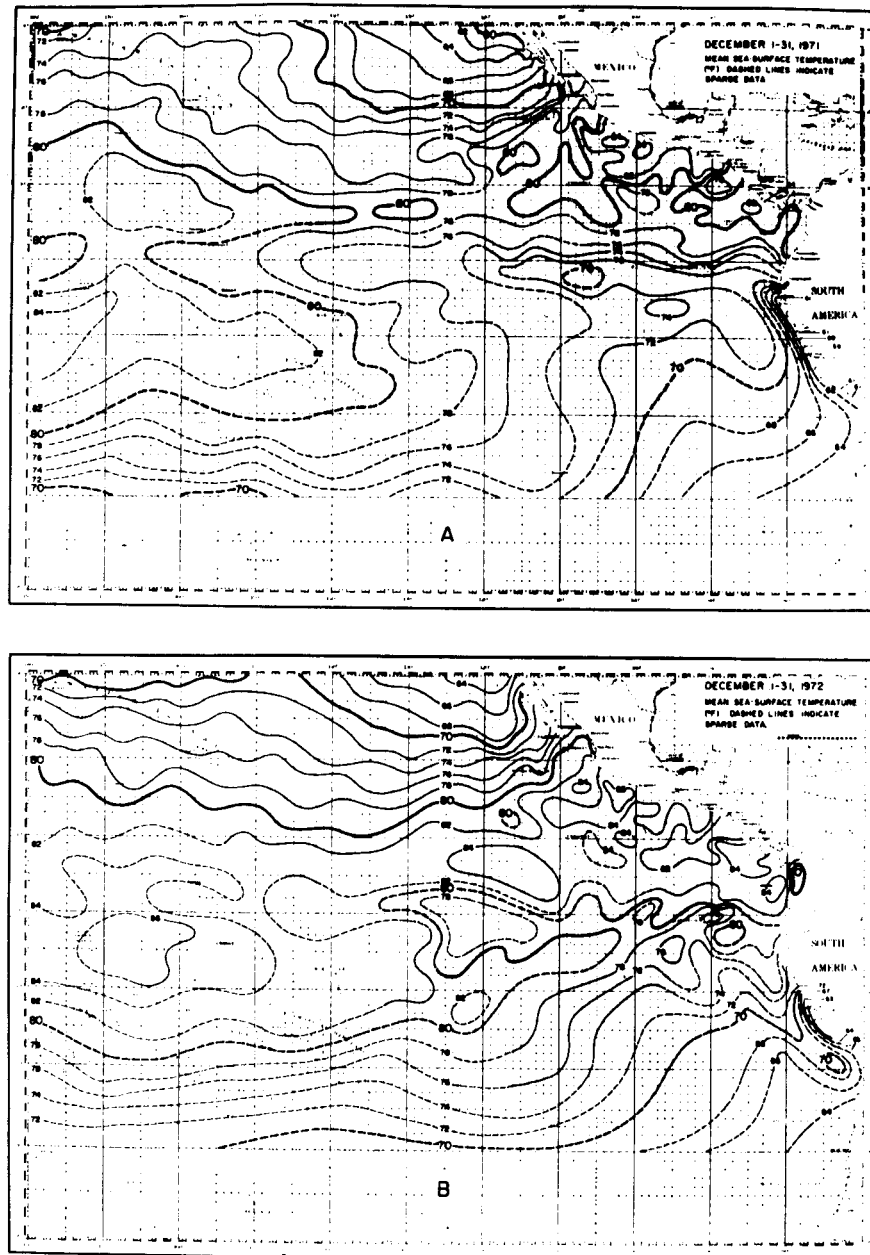


FIGURE 1. Sea-surface temperature analyses for December 1971 (A) and December 1972 (B) based on monthly mean temperatures from ships, averaged by 1-degree quadrangles and monthly mean sea-surface temperatures from available coastal stations in Ecuador and Peru.

FIGURA 1. Análisis de la temperatura superficial del mar de diciembre 1971 (A) y diciembre de 1972 (B) basado en las temperaturas medias mensuales tomadas por los barcos, promediadas por cuadrángulos de 1 grado y la media mensual de las temperaturas de la superficie del mar obtenida en estaciones costeras del Ecuador y Perú.

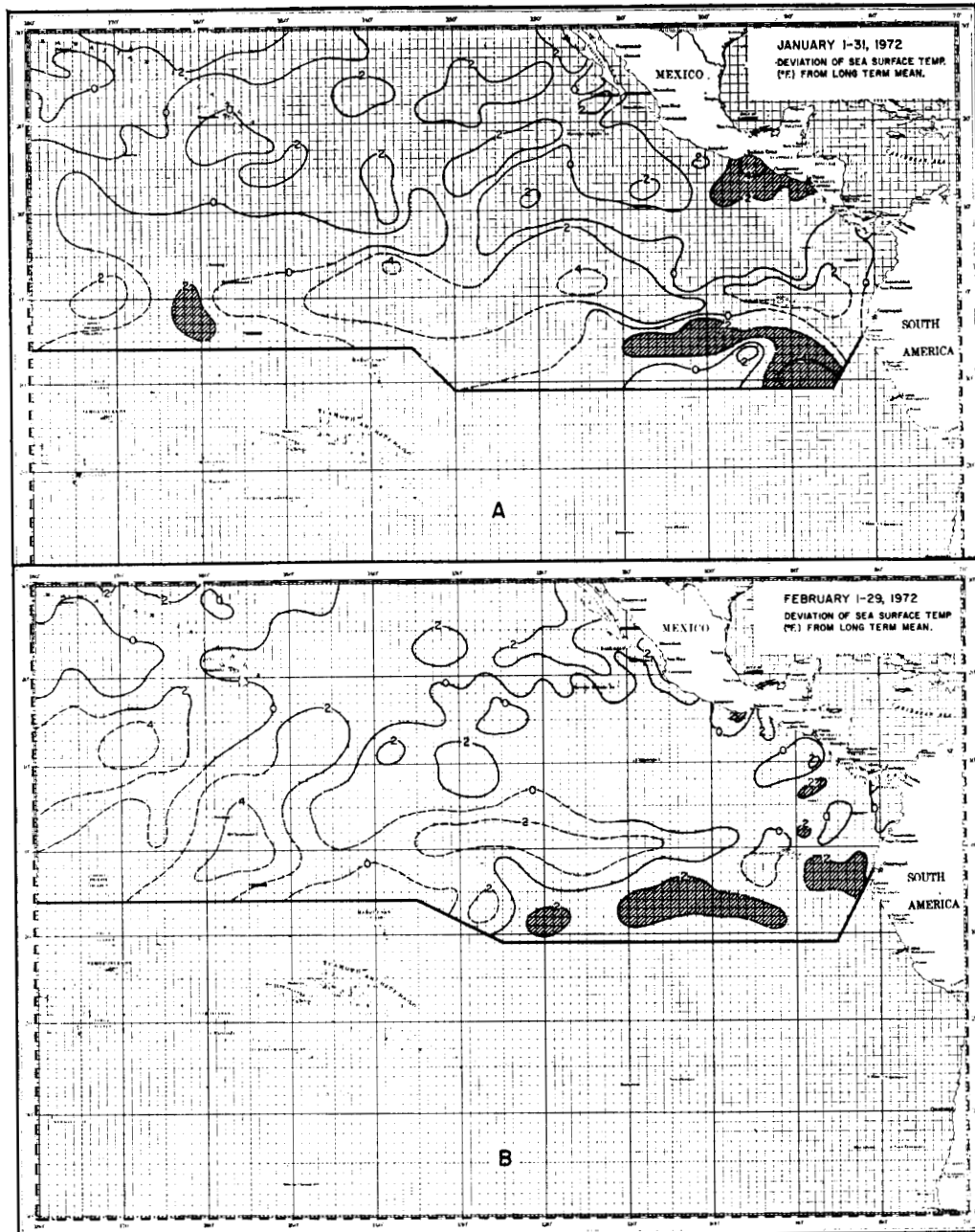


FIGURE 2. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for January 1972 (A) and February 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 2. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de enero 1972 (A) y febrero de 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

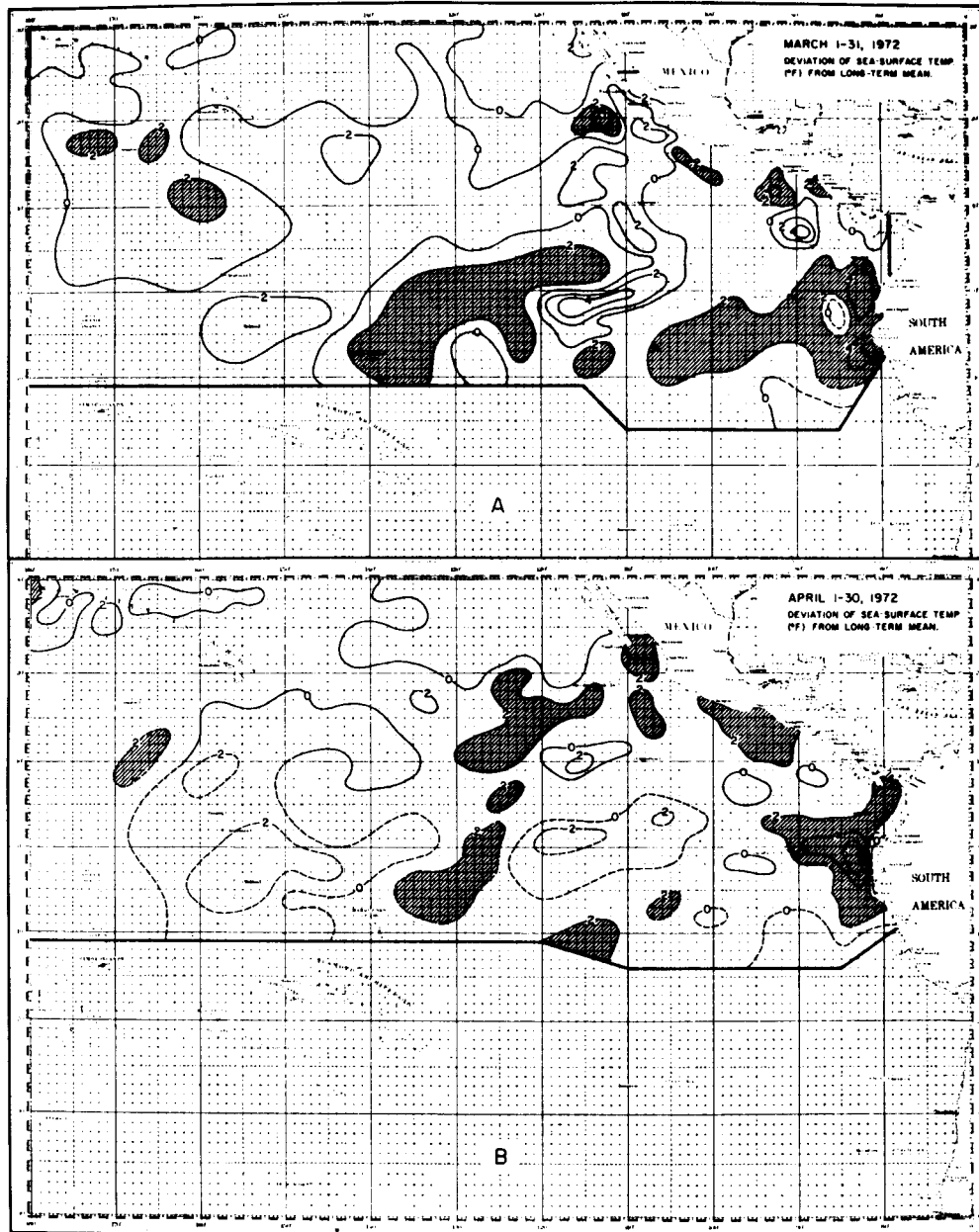


FIGURE 3. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for March 1972 (A) and April 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 3. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de marzo 1972 (A) y abril 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

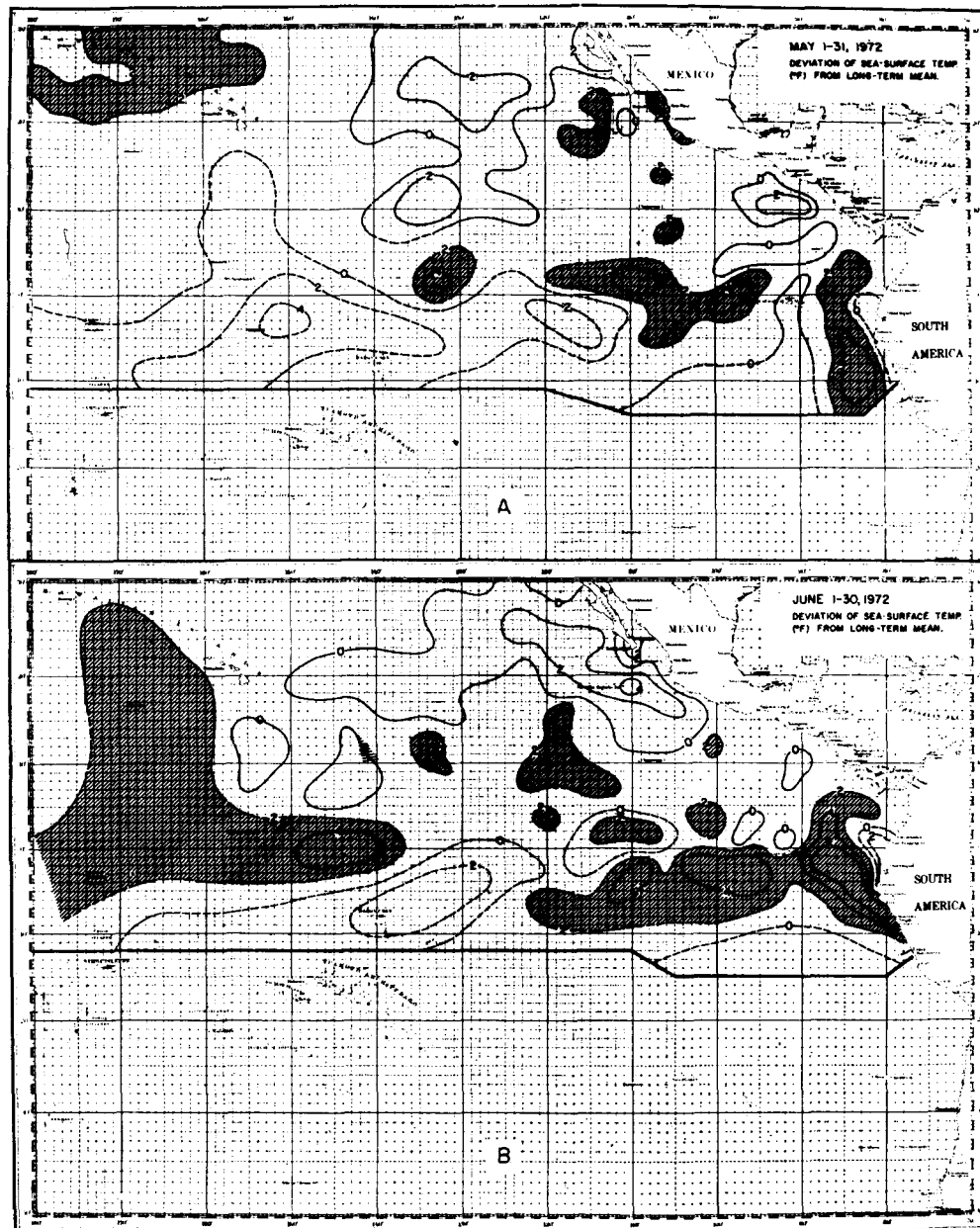


FIGURE 4. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for May 1972 (A) and June 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 4. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de mayo 1972 (A) y junio 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

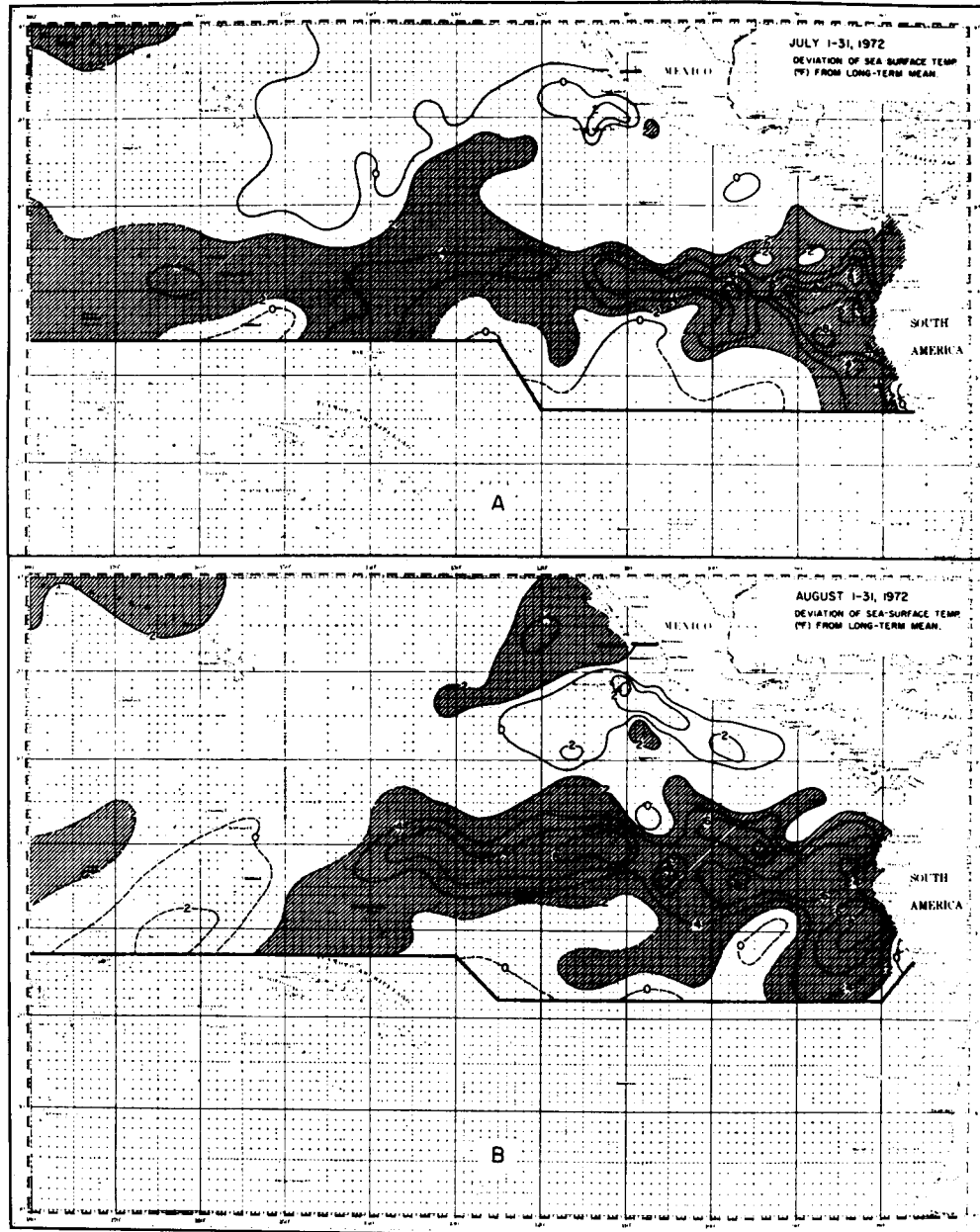


FIGURE 5. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for July 1972 (A) and August 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 5. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de julio 1972 (A) y agosto 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

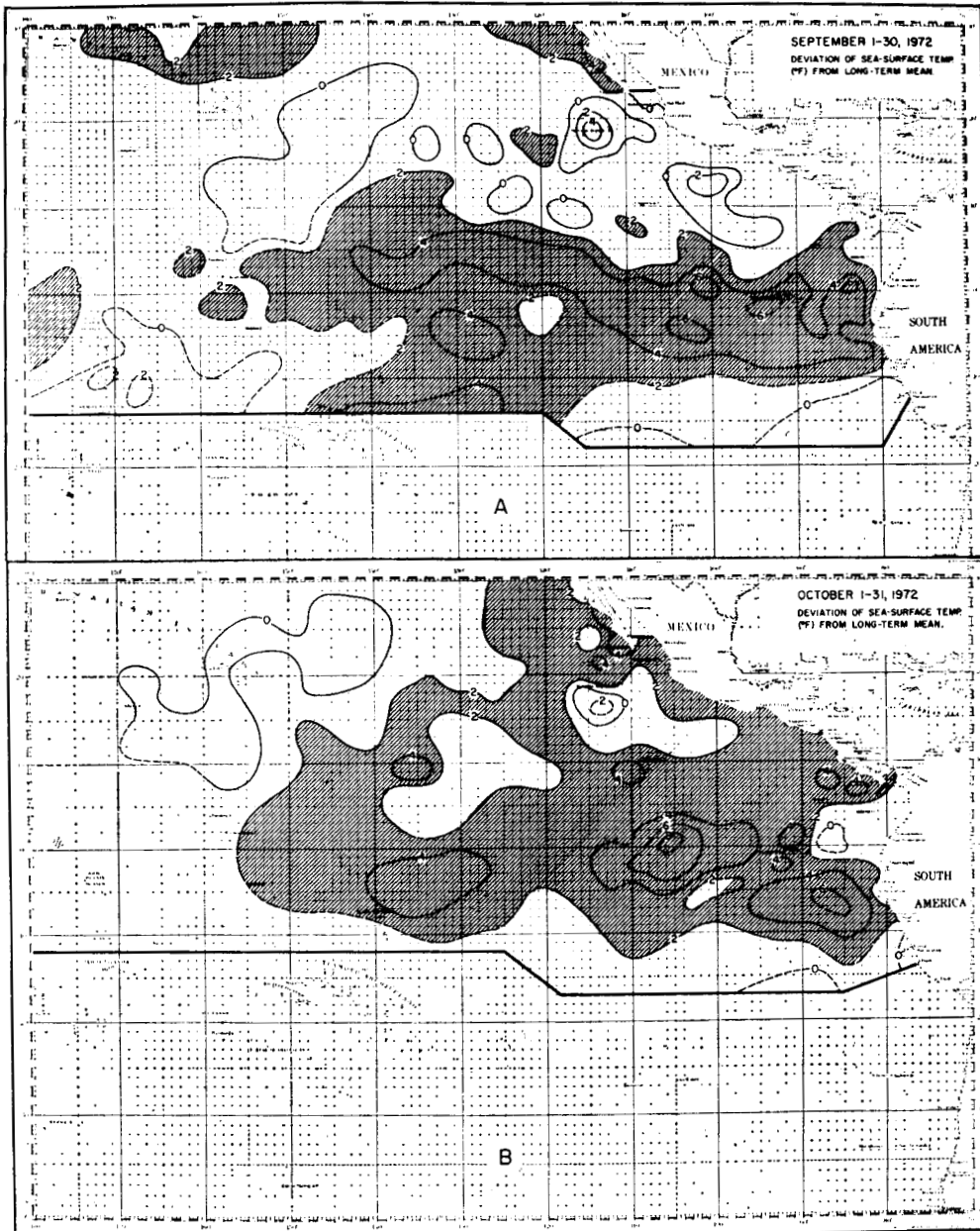


FIGURE 6. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for September 1972 (A) and October 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 6. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de septiembre 1972 (A) y octubre 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

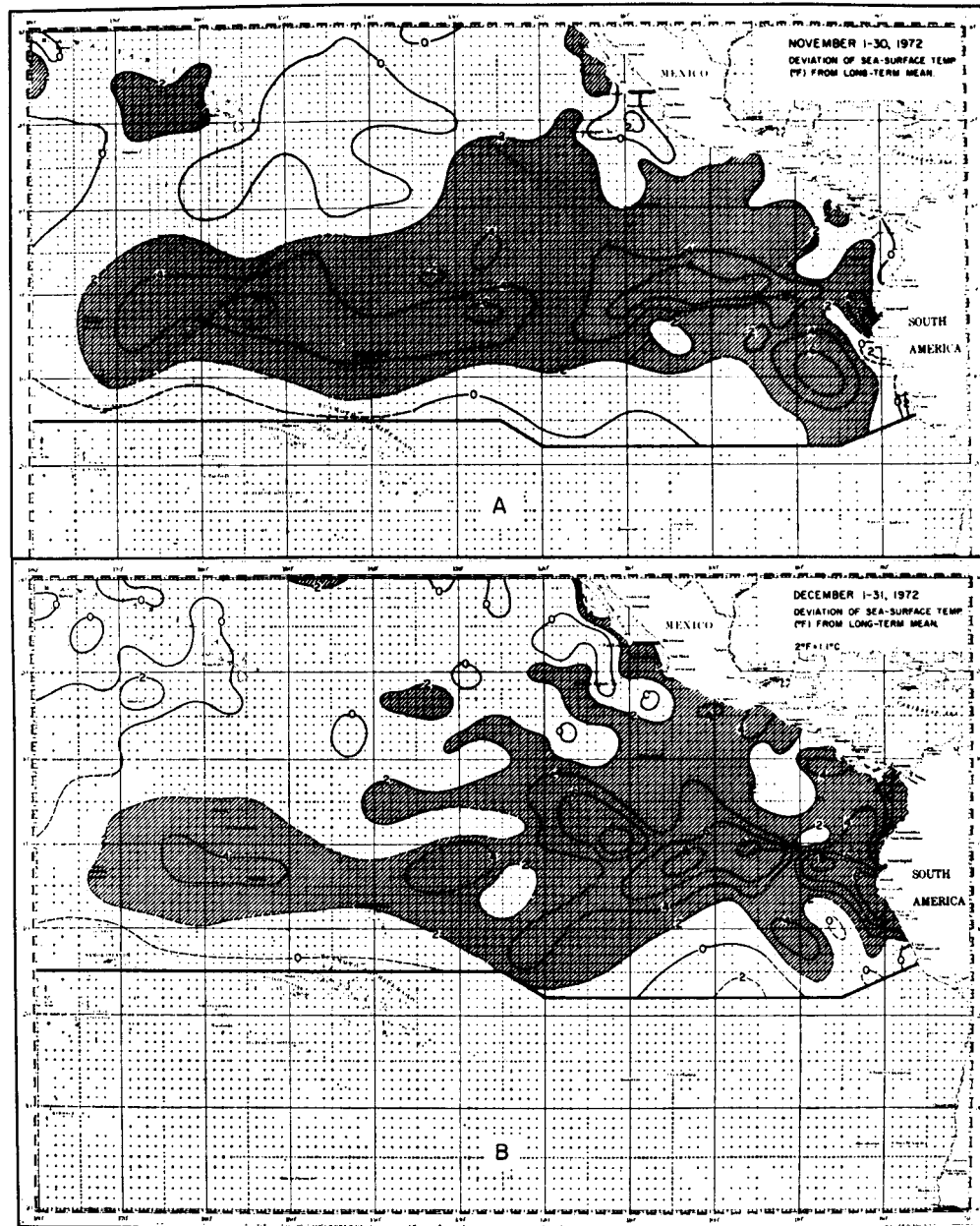


FIGURE 7. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for November 1972 (A) and December 1972 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 7. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de noviembre 1972 (A) y diciembre 1972 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

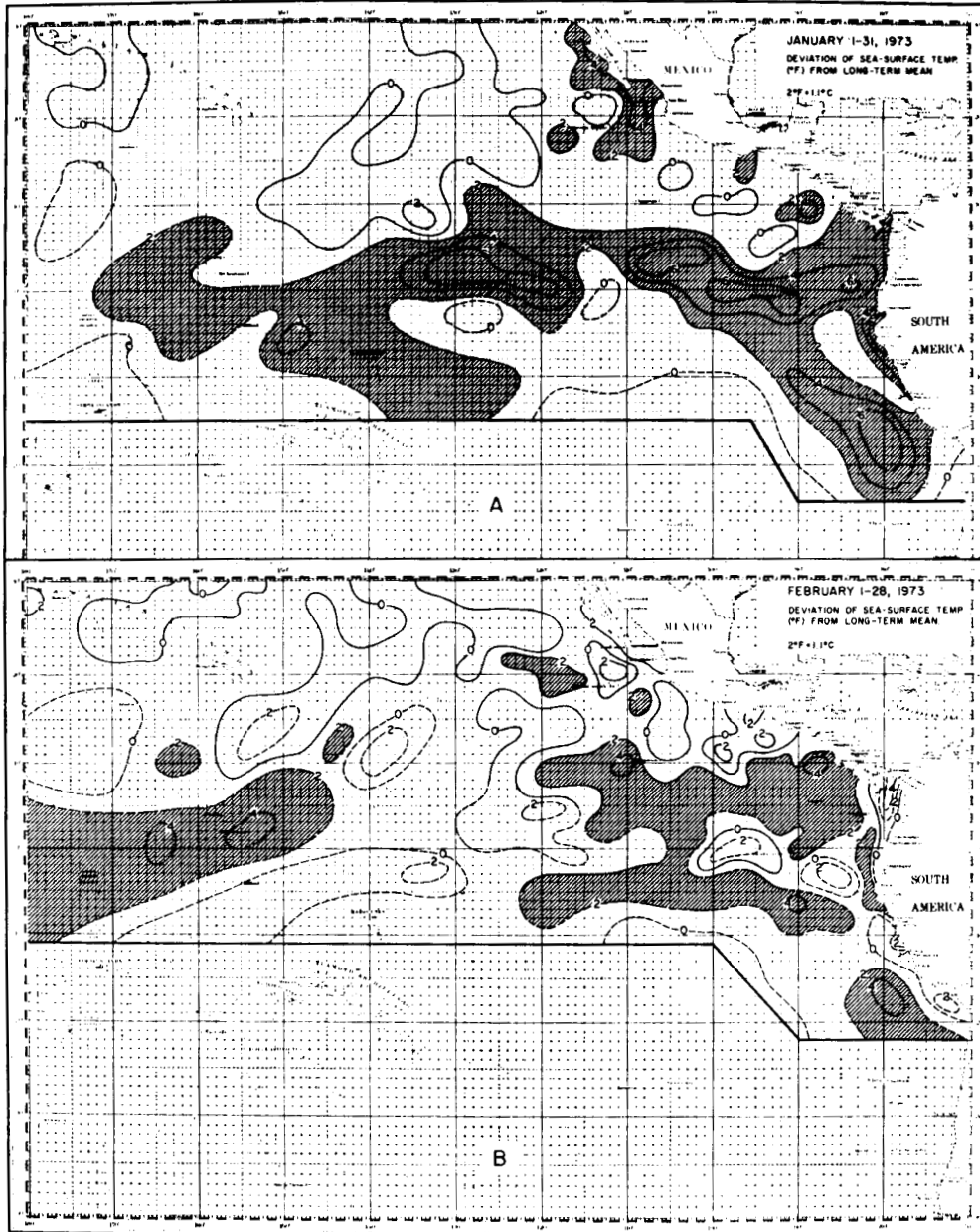


FIGURE 8. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for January 1973 (A) and February 1973 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 8. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de enero 1973 (A) y febrero 1973 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

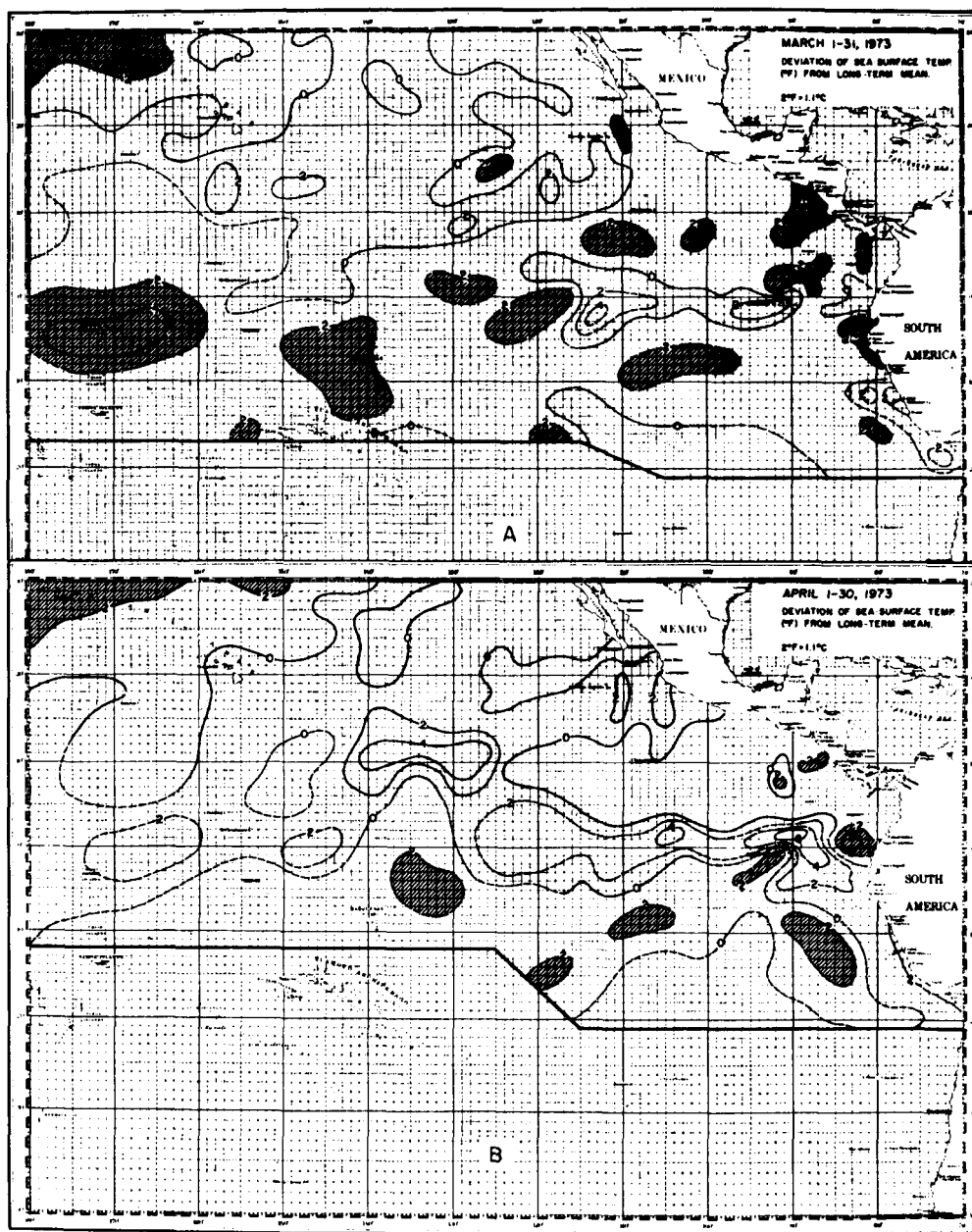


FIGURE 9. Monthly sea-surface temperature anomalies (deviations from the 1947-1968 mean temperatures) for March 1973 (A) and April 1973 (B). Shaded areas were warmer by 2°F (1.1°C) or more than the long-term means.

FIGURA 9. Anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (desviaciones de la media de las temperaturas de 1947-1968) de marzo 1973 (A) y abril 1973 (B). Las áreas sombreadas tenían 2°F (1.1°C) o más de temperatura que las medias a largo plazo.

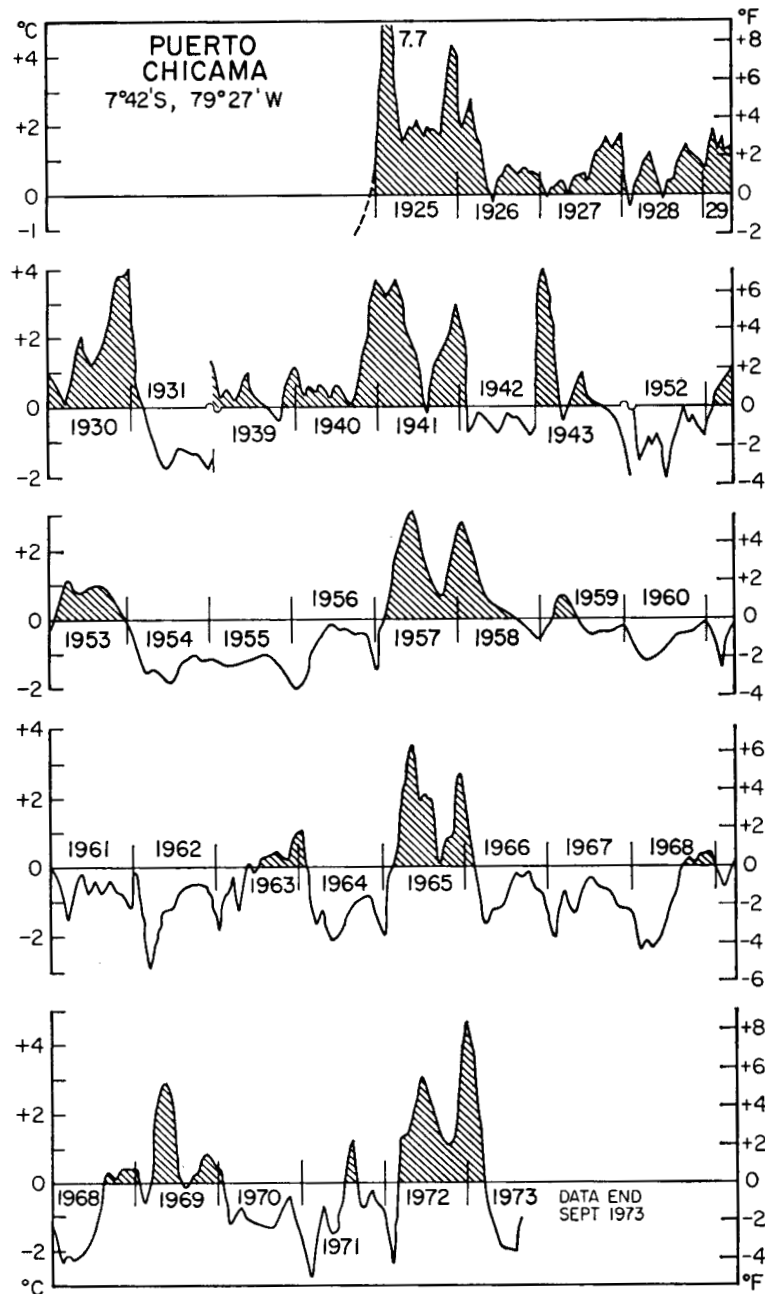


FIGURE 10. Time sections of sea-surface temperature anomalies ($^{\circ}\text{C}$) at Puerto Chicama, Peru. Positive anomalies are hatched. For alignment of major El Niño periods there are periodic data gaps or overlaps in the sections.

FIGURA 10. Secciones cronológicas de las anomalías de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) en Puerto Chicama, Perú. Las anomalías positivas se encuentran sombreadas por líneas. Para la alineación de períodos principales del Niño hay vacíos periódicos de los datos o éstos se sobrepone en las secciones.

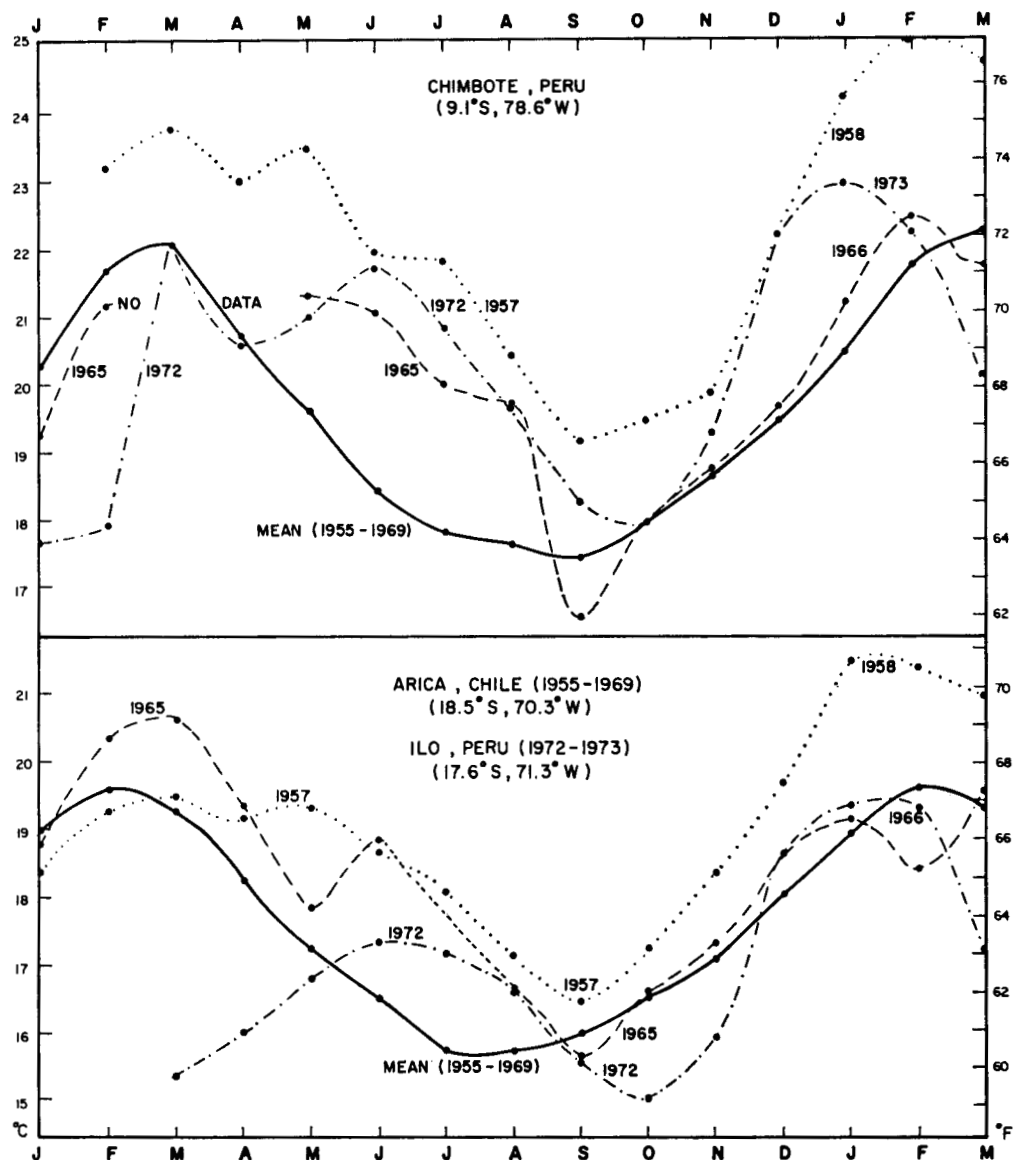


FIGURE 11. Annual variations in sea-surface temperatures for three recent El Niño years (1957-1958, 1965-1966, 1972-1973) and for long-term means at Chimbote, Peru, Arica, Chile, and Ilo, Peru. Arica data for 1972-1973 were not available.

FIGURA 11. Variaciones anuales en las temperaturas de la superficie del mar de tres años recientes del Niño (1957-1958, 1965-1966, 1972-1973) y para las medias a largo plazo de Chimbote, Perú, Arica, Chile e Ilo, Perú. No se pudieron obtener los datos de Arica de 1972-1973.

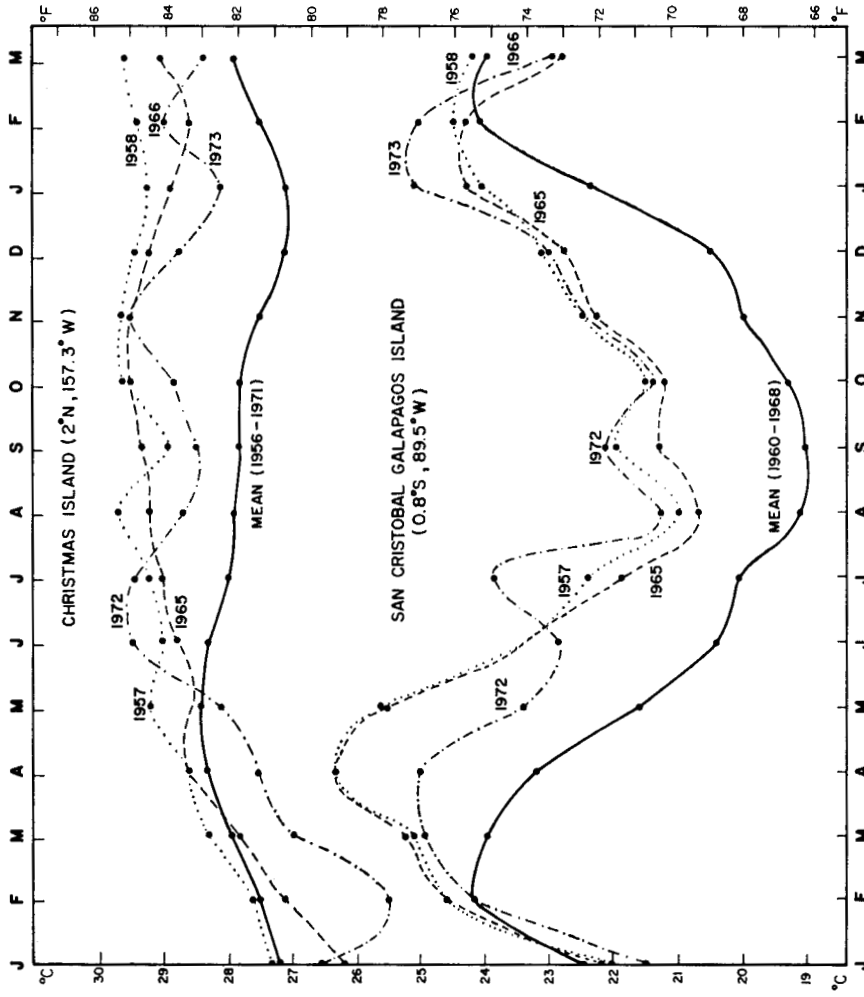


FIGURE 12. Annual variations in sea-surface temperatures for three recent El Niño years (1957-1958, 1965-1966, 1972-1973) and for long-term means for two equatorial islands in the eastern tropical Pacific.

FIGURA 12. Variaciones anuales en las temperaturas de la superficie del mar en tres años recientes del Niño (1957-1958, 1965-1966, 1972-1973) y para las medias a largo plazo de dos islas ecuatoriales en el Pacifico oriental tropical.

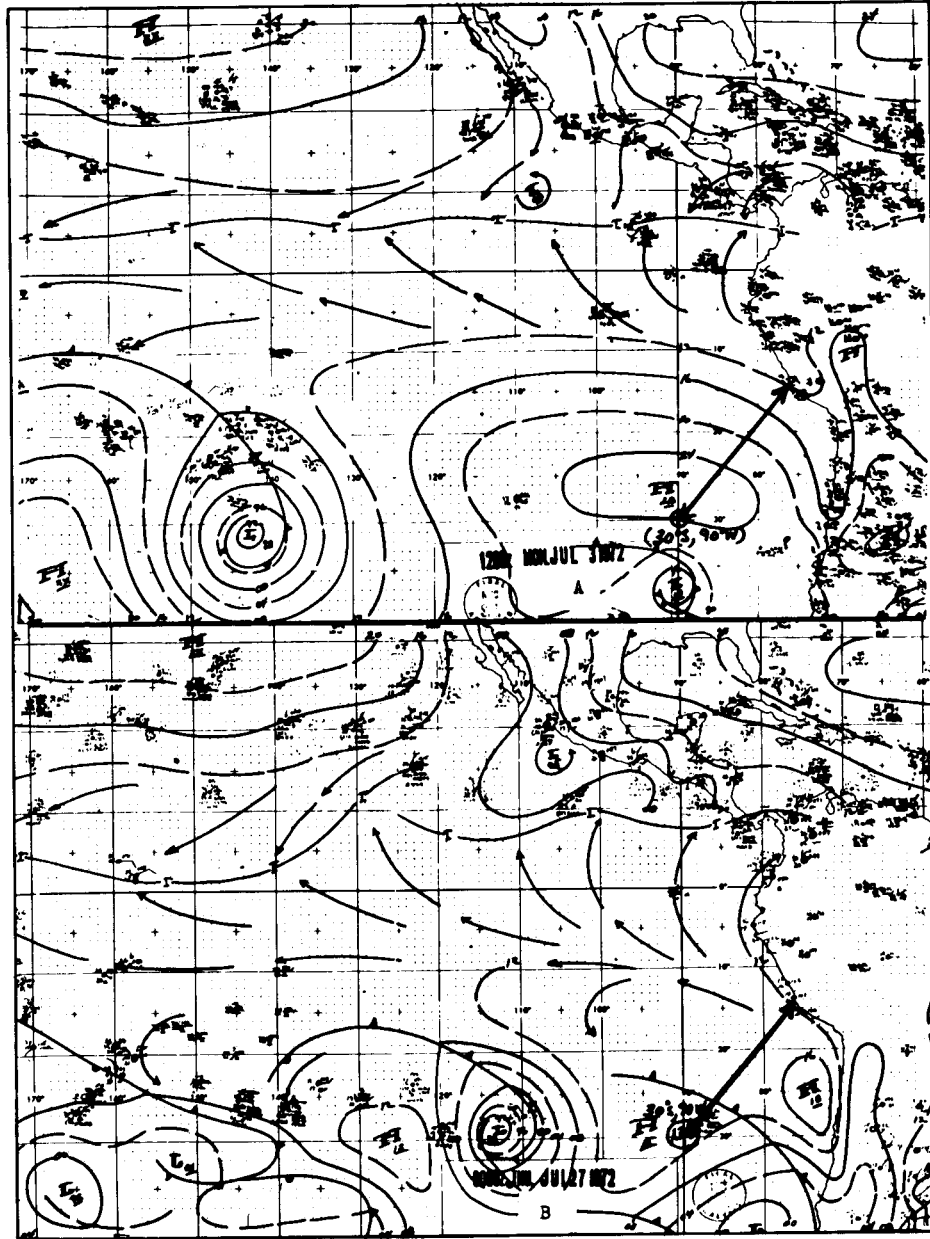


FIGURE 13. Sea-surface pressure and weather front analyses prepared by the National Weather Service, Washington, D. C., for July 3, 1972 (A) and July 27, 1972 (B). Heavy line from the coast of Peru (16°S) to $30^{\circ}\text{S}-90^{\circ}\text{W}$ indicates end points for obtaining data for pressure gradient index.

FIGURA 13. Análisis de la presión superficial del mar y del frente atmosférico, preparado por el National Weather Service, Washington, D. C., para el 3 de julio 1972 (A) y el 27 de julio 1972 (B). La línea gruesa desde la costa del Perú (16°S) a los $30^{\circ}\text{S}-90^{\circ}\text{W}$ indica los puntos finales de los que se obtuvieron datos para el índice del gradiente de presión.

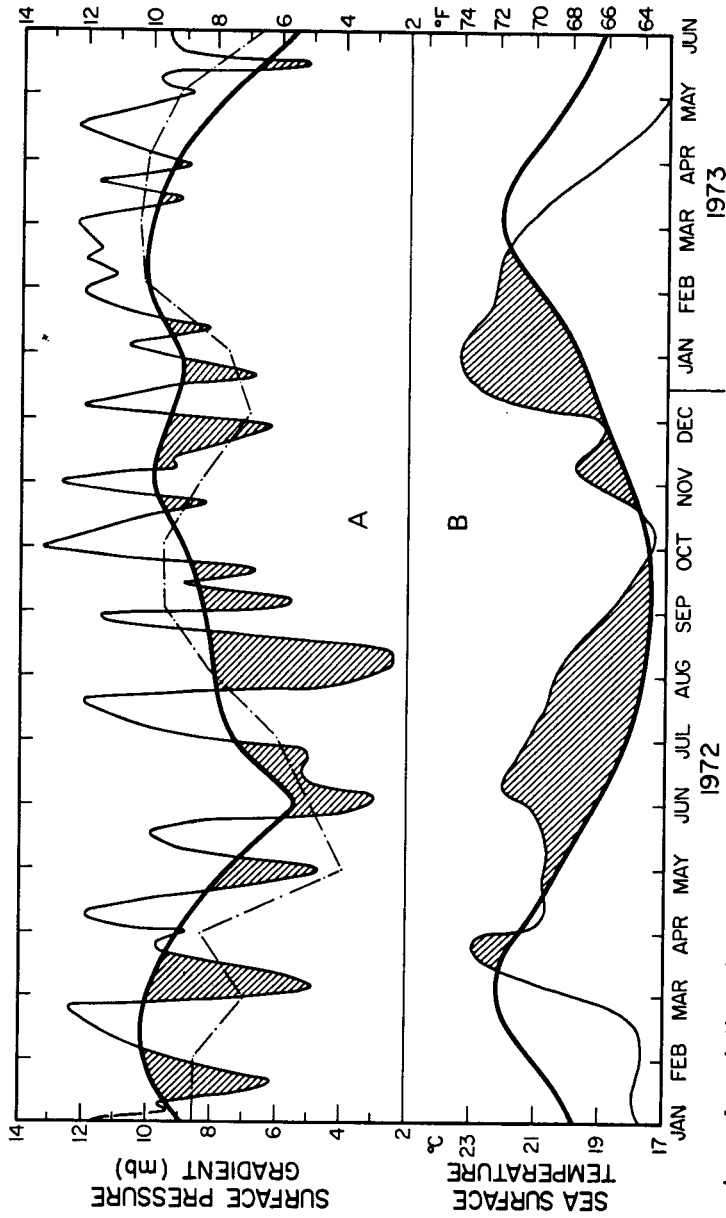


FIGURE 14.

Annual variations in sea-surface pressure gradient between the coast of Peru (16°S) and 30°S - 90°W (A). The heavy line represents the long-term mean pressure gradient, and the dot-dash line is the annual variation during the 1957-1958 El Niño based on monthly mean pressure gradients between the same points. Annual departures of sea-surface temperatures from the long-term means (smooth curve) at Chimbote, Peru are shown in (B). Hatched areas in (A) show periods of below-normal pressure gradients. Hatched areas in (B) show above-normal temperatures.

FIGURA 14.

Variaciones anuales en el gradiente de presión de la superficie del mar entre la costa del Perú (16°S) y los 30°S - 90°W (A). La línea gruesa representa la media a largo plazo del gradiente de presión, y la línea punto-guión es la variación anual durante el Niño de 1957-1958 basada en la media mensual de los gradientes de presión entre los mismos puntos. Las desviaciones anuales de las temperaturas superficiales del mar de las medias a largo plazo (curva suave) en Chimbote, Perú, se presenta en (B). Las áreas sombreadas a rayas en (A) indican periodos de gradientes de presión debajo de lo normal. Las áreas sombreadas a rayas en (B) indican temperaturas superiores a lo normal.

EL NIÑO DE 1972-1973 EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL¹

por

Forrest R. Miller² y R. Michael Laurs³

EXTRACTO

A comienzos de febrero de 1972, no se registró el enfriamiento común estacional del agua superficial del Océano Pacífico oriental en la región de la Corriente del Perú y a lo largo del ecuador. En julio las estaciones tropicales, costeras y de las islas ecuatoriales, y los barcos que cruzaban la línea ecuatorial registraron temperaturas superficiales del mar de 6° a 8°F (3.3°-4.4°C) más altas que la media a largo plazo. Las anomalías se esparcieron sobre la mayoría del Pacífico oriental tropical, y al oeste en el Pacífico central ecuatorial. En octubre, las temperaturas superficiales de las estaciones costaneras a lo largo de Sudamérica volvieron a la normalidad, pero en noviembre y diciembre de 1972, las temperaturas de nuevo ascendieron rápidamente con una anomalía de temperatura que alcanzó 8.1°F (4.2°C) sobre la media a largo plazo registrada en Puerto Chicama, Perú (7°42'S-79°27'W). Después de enero 1973 las temperaturas de la superficie del mar volvieron rápidamente a la normalidad en la mayoría del Pacífico oriental tropical y en marzo de 1973 el Niño había completado su ciclo.

Se discuten las anomalías mensuales de las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico oriental tropical para indicar la extensión y magnitud del calentamiento. Los perfiles anuales de temperatura en varias estaciones costeras y de las islas ecuatoriales sudamericanas se comparan con los perfiles de temperatura de los años en que ocurrió el Niño en 1957-1958 y 1965. Se comparan también las características de los perfiles de las anomalías de temperatura en Puerto Chicama durante varios años muy cálidos para el período de 1925-1972. Finalmente, se examinan los factores meteorológicos que contribuyen al debilitamiento de los vientos alisios del sudeste y a la reducción del afloramiento a lo largo de la costa sudamericana en 1972-1973.

INTRODUCCION

Periódicamente grandes secciones del Océano Pacífico oriental tropical y subtropical experimentan en los estratos superficiales un enfriamiento

¹Este estudio resume la investigación realizada como parte de un programa pesquero de información, patrocinado por el National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, California. La participación en este estudio por la Comisión Interamericana del Atún Tropical fue hecha bajo los contratos del NOAA 03-4-208-59 y 03-5-208-83 con el National Marine Fisheries Service, La Jolla, California.

²Comisión Interamericana del Atún Tropical, La Jolla, California 92037.

³National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Center, La Jolla, California 92037.

o calentamiento excesivo. Se cree que las anomalías en gran escala que perduran varios meses hasta más de un año, son manifestaciones de los procesos de la interacción aire-mar que ocurren en escala global. Las condiciones anómalamente cálidas del océano, denominadas comúnmente como el Niño, prevalecieron sobre la mayor parte del Pacífico oriental tropical durante 1972-1973.

Los objetivos de este estudio son: (1) describir el grado y magnitud del calentamiento asociado con el Niño de 1972-1973, mediante el examen de las pautas mensuales de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico oriental tropical; (2) comparar las condiciones termales del océano durante el Niño de 1972-1973 con las de otros períodos del Niño; y (3) examinar los factores meteorológicos superficiales que contribuyeron al debilitamiento de los vientos alisios del sudeste y a la reducción en el afloramiento a lo largo de la costa sudamericana en 1972-1973.

FUENTE DE DATOS Y METODOS

El National Marine Fisheries Service (NMFS), Southwest Fisheries Center, La Jolla Laboratory, como parte de su programa de investigación oceanográfico pesquero, realizado para predecir las condiciones de pesca, ha desde 1960 vigilado la temperatura del océano en el Pacífico oriental entre los 30°S y 60°N. La mayoría de los datos empleados en este estudio fueron obtenidos como parte de este programa de reconocimiento.

La mayor fuente de datos usada en la preparación de los diagramas de las temperaturas superficiales del mar (Figura 1) y las anomalías de las medias a largo plazo (Figuras 2-9) son los informes meteorológicos marinos recibidos de barcos en el mar. Estos informes se reciben por medio de transmisiones sinópticas programadas, de embarcaciones mercantes, pesqueras y de investigación de los E. U. y extranjeras de acuerdo a los procedimientos establecidos por la Organización Mundial Meteorológica. Cerca de 4,000 informes meteorológicos sinópticos marinos, incluyendo observaciones de la temperatura de la superficie del mar (TSM), de las regiones del Océano Pacífico oriental tropical y subtropical se procesan cada mes en el laboratorio del NMFS en La Jolla. Una descripción de como se reciben y se procesan las observaciones fue presentada en una publicación por Johnson, Flittner y Cline (1965). Aunque se han cambiado algunos de los detalles específicos del programa, los métodos actuales de procesamiento son esencialmente los mismos a los descritos en esa publicación. Cada mes se promedian los datos de la TSM por cuadrángulos de 1 grado y se grafican en la computadora. Los gráficos de las isotermas se hacen mediante el análisis manual.

A causa de que los datos de la TSM se obtienen principalmente de observaciones realizadas por embarcaciones mercantes y pesqueras, la

distribución espacial y temporal de los datos se concentra a lo largo de las líneas de navegación y en las zonas pesqueras en el Océano Pacífico oriental tropical. Los datos de la TSM basados en una media de 20 años (1948-1967) se emplean para proporcionar datos fundamentales en regiones en que éstos son escasos. Estos datos fueron computados según las observaciones superficiales del mar suministradas por el National Climatic Center, Asheville, North Carolina, gracias a la colaboración del laboratorio del NMFS, La Jolla, California, del Pacific Environmental Group, NMFS, Monterey, California y del Fleet Numerical Weather Central, U. S. Navy, Monterey, California. Estos datos a largo plazo se usan además para preparar los gráficos mensuales de las anomalías de temperatura de la superficie del mar. Las pautas anómalas se obtienen al abstraer los datos de la TSM de la media a largo plazo de los meses correspondientes.

Este estudio no incluye los análisis de la TSM de cada mes del Niño de 1972-1973. Sin embargo, los análisis de diciembre 1971 y diciembre de 1972, representantes de los años de "frío" y "calor", respectivamente, se presentan en la Figura 1. Las diferencias principales en la distribución de la TSM en estos meses de diciembre de "frío" y "calor" se encuentran más acentuadas a lo largo de la costa sudamericana y en la zona ecuatorial. Por ejemplo, la media mensual de las TSM en las estaciones del litoral a lo largo de la costa sudamericana, fluctuaron de unos 59° a 61°F (15.0°-16.1°C) en diciembre de 1971 y de 63° a 72°F (17.2°-22.2°C) en diciembre de 1972. Además, en 1971 hubo un fuerte gradiente termal en una estrecha faja de 200 a 250 km de amplitud, paralela al litoral peruano y extendiéndose a unos 2°S, donde viró abruptamente al este para intersectar la línea de la costa. La porción meridional del gradiente fue más difusa y no tan bien definida como la del norte. En 1972, en contraste, el gradiente termal fue más débil y se localizó más hacia el sur (en su mayoría al sur de los 10°S) que en 1971. Además el extremo meridional del gradiente se definió mejor en 1972 que en 1971. Por lo consiguiente el área ocupada por aguas con una temperatura superficial de más de 80°F (26.7°C) en el Océano Pacífico oriental tropical fue considerablemente superior en diciembre de 1972 que en diciembre de 1971.

Los análisis de la TSM de otros meses fueron obtenidos de Laurs (1972-1973). Para graficar la Figura 10 se emplearon las temperaturas superficiales medidas con termómetros de cubo en estaciones costeras entre los 5°S y los 20°S suministradas por el Living Marine Resources, Inc. (LMR), San Diego, California.

A principios de 1972, a medida que las temperaturas del mar empezaron a ascender, se trató de observar la fuerza general de los vientos alisios del sudeste, frente a la costa sudamericana, con relación al calentamiento de la superficie de la Corriente del Perú. Como los informes de los vientos en la superficie fueron muy escasos a lo largo de la costa, se

usaron dos veces al día los gráficos de la presión superficial. Según estos gráficos, provistos por el National Weather Service, Washington, D. C., se preparó un índice del gradiente de presión. El gradiente fue obtenido según los diagramas diarios, al substrair la presión superficial de una estación costera del Perú cerca a los 16°S y un punto a los 30°S-90°W (aproximadamente el centro de alta presión del Pacífico sudeste). Los promedios semanales del gradiente de presión fueron graficados contra la media a largo plazo del gradiente de presión entre las mismas localidades.

INFORMACION GENERAL SOBRE EL NIÑO

Para los pescadores y pobladores costeros de la América Central y Sudamérica, especialmente Ecuador y Perú, el Niño significa aguas costeras inusualmente cálidas, marea roja, pesca pobre y frecuentemente lluvias torrenciales culminado todo comúnmente en diciembre. Aunque el Niño es un término familiar con una connotación religiosa (el Niño se refiere el Niño Dios, nombre que fue escogido ya que la culminación de este fenómeno ocurre cerca a la fecha tradicional de navidad), aparentemente no se conoce el significado original. Otros nombres dados a este fenómeno oceanográfico-meteorológico son: *El Pintor* o *Pintor de Callao* que se refiere al ennegrecimiento del casco de los barcos y de las casas causado por el hidrógeno sulfurado producido por la descomposición de organismos marinos (Wooster, 1960); *Aguaje* que significa probablemente inundación por las lluvias y marea roja que comúnmente ocurre simultáneamente a lo largo del Perú y Ecuador de diciembre a febrero durante los años del Niño (A. Alvariano, La Jolla, Calif., com. pers.); y la *Corriente del Niño* identificada por los navegantes como una corriente que se mueve al sur apareciendo a fines del año en contraste a la Corriente del Perú que se mueve normalmente al norte (James, 1953; Hawken, 1973).

En los años en que aparece el Niño muy débilmente o no aparece, la Corriente fría del Perú perpetúa una corriente fría hacia el norte bajo estratocúmulos muy bajos, un clima de desierto se extiende desde Chile hasta el sur del Ecuador, y las lluvias tropicales se encuentran confinadas a la zona ecuatorial al norte de los 5°S. En contraste, los años del Niño se relacionan con un cambio principal en los sistemas de la presión atmosférica extendiéndose desde Sudamérica hasta por lo menos la región central del Pacífico sur. Comenzando en el invierno austral de un año, el gran intercambio de calor de las aguas cálidas costeras provoca lluvias casi tropicales e inundaciones frecuentes a lo largo de las llanuras costeras. Esta condición amaina algo durante la primavera austral; pero cuando la presión atmosférica costera permanece baja, siguen fuertes lluvias y vientos alisios del sudeste débiles, y ocurre otro máximo en la temperatura del mar en la Corriente del Perú durante el verano siguiente. Cuando el calentamiento del Niño se aproxima a su máximo, la pesca costera de la anchoveta,

Engraulis ringens, se vuelve más errática, mermando las capturas, mientras las especies tropicales son más abundantes e invaden las aguas costeras a veces hasta el sur del Perú (Wooster, 1960).

En los últimos 50 años, los registros de las temperaturas superficiales del mar revelan que las condiciones del Niño prevalecieron a lo largo de la costa sudamericana en 1925, 1930, 1939, 1941, 1943, 1951, 1957, 1965, 1969 y 1972. Existe una indicación, que ha habido un ciclo de 15 a 16 años en las mayores anomalías positivas de la TSM que ha ocurrido en las estaciones costeras de Perú y Ecuador durante los períodos del Niño en 1925, 1941, 1957 (Berlage, 1966; Quinn y Burt, 1970), y más recientemente en 1972. Stevenson, *et al.* (1970) observó además que los escritos indicaban máximos en las condiciones del Niño a los 6 y 16.5 años en las estaciones costeras de Perú y Ecuador.

Las publicaciones referentes a los Niños ocurridos antes del decenio de 1950, son principalmente descriptivas y contienen generalmente referencias de la Corriente cálida del Perú (Murphy, 1926; Schott, 1931; Gunther, 1936). Aparentemente, la evidencia con respecto a los efectos del calentamiento en las propiedades físicas de la Corriente del Perú o los efectos en la flora y fauna allí, se limitó a las áreas costeras adyacentes.

HIPOTESIS SOBRE EL ORIGEN DEL NIÑO

La investigación sobre los fenómenos del Niño ocurridos anteriormente, indica tres hipótesis generales sobre el origen del agua relativamente cálida y de baja salinidad que invade periódicamente o se encuentra en la superficie de la Corriente del Perú frente a Sudamérica durante los años del Niño. Currie (1953) y Bjerknes (1966) sugirieron que fuertes vientos norteros soplan hacia el sur en el Golfo de Panamá y al este de las islas Galápagos, y que la zona de convergencia intertropical se desplaza al hemisferio austral. Esto conduce a una advección al sur del agua cálida ecuatorial de baja salinidad y a una desintegración del frente ecuatorial oceánico frente al Ecuador cuando los vientos alisios del sudeste se vuelven débiles frente a la costa sudamericana. Schott (1931) y James (1953) supusieron que existía una advección al este, del agua cálida que se encuentra siempre al sur de las islas Galápagos y al oeste de la Corriente del Perú. Existe alguna evidencia de acuerdo a M. Tsuchiya (Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, Calif., com. pers.) que indica que el agua de la superficie puede desplazarse hacia el este entre los 5°S y 10°S y al este de los 110°W, en donde la Contracorriente Ecuatorial del Sur puede a veces ascender a la superficie cuando los vientos alisios del sudeste disminuyen en los años del Niño. Stevenson *et al.* (1970) observó que en dos ocasiones (abril-junio y octubre-diciembre 1965) el agua cálida superficial de alta salinidad penetró hasta 80 millas de la costa entre los 8°S-10°S. Indicaron que esta corriente al este se encontraba asociada con la Contra-

corriente Ecuatorial del Sur y que esta corriente puede haber transportado aguas cálidas hasta muy cerca de la costa durante los períodos del Niño. De acuerdo a Sears (1954) y Wooster (1960), cuando los vientos alisios del sudeste se debilitan y el afloramiento o mezcla vertical llega a ser mínimo en la Corriente del Perú y su extensión ecuatorial, ocurre un calentamiento *in situ* en la Corriente del Perú a causa de que hay menos nubosidad estratiforme. Además, la insolación está a su máximo durante el verano del hemisferio austral cuando las condiciones del Niño son más intensas. Se conoce que caen cantidades más grandes de lluvia de nubes convectivas sobre el Ecuador y Perú y en regiones de la Corriente del Perú adyacentes al océano en años cálidos (Bjerknes, 1961). Cantidades más grandes de humedad son transportadas en la atmósfera y caen en forma de fuertes lluvias. Esto en parte, puede ser la causa de las áreas de aguas superficiales de salinidad más baja que se encuentran a lo largo de la costa durante un fenómeno del Niño.

Una discusión sobre las propiedades de la superficie y subsuperficie de la Corriente del Perú durante el Niño de 1965-1966 es presentada por Stevenson *et al.* (1970). Presentan además un examen de la literatura referente al posible origen del agua cálida que se encuentra a lo largo de la costa sudamericana durante los años del Niño.

Wooster (1960) calculó que, "Durante los años del Niño, existe un debilitamiento general de la circulación atmosférica en el estrato marino, y que la reducción en el componente del viento paralelo a la costa es responsable por un debilitamiento o cesación del afloramiento". Concluye que el Niño es un término genérico con una aplicación no solamente a la costa peruana pero a las áreas costeras occidentales de California, el sudeste del Africa, Australia occidental y Vietnam.

Bjerknes (1966) al discutir las ramificaciones del tiempo del Niño de 1957-1958 afirmó que, "El Niño es un fenómeno veranero del hemisferio austral y que la alta temperatura del mar medida en esta época es una derivación del máximo de insolación anual, especialmente en la banda de los alisios donde se encuentran pocas nubes . . . El debilitamiento de los alisios tiene efectos más repentinos y espectaculares en el océano en términos de la temperatura producida por la cesación del afloramiento . . . Siempre que un área de agua aflorada es cubierta por una invasión de agua cálida superficial, la atmósfera se encuentra expuesta a una nueva fuente de calor originando un intercambio de la convección vertical y lluvia".

La presencia de grandes charcos de agua cálida entre los 5°S y 10°S durante el verano austral fue indicada por Wyrтки (1964). Observó que los análisis y datos detallados revelaban la existencia de una lengua cálida de agua al oeste y adyacente a la Corriente fría del Perú. Wyrтки afirmó que estas áreas aisladas de altas temperaturas no podían ser causadas por advección, y que el calentamiento local era importante ya que comúnmente

el agua más fría rodea los parches de agua cálida durante los años en los que no ocurre el fenómeno del Niño. Los análisis de la temperatura de la superficie del mar presentados por Laurs (1972-1973) indican que las áreas de aguas cálidas descritas por Wyrski se extendieron al este hasta la costa del Ecuador en la primavera y el verano austral de 1972. Durante los años fríos, las áreas de aguas cálidas permanecen por lo común 400 a 500 km frente a la costa. Wooster y Guillén (1974) observaron también la lengua de agua cálida durante el Niño de 1972-1973.

Berlage (1966) sugirió que el debilitamiento de la Corriente del Perú se relaciona a la "Oscilación Austral", donde la presión atmosférica en el centro de alta presión de la región sudeste del Pacífico se reduce y la presión llega a ser relativamente alta sobre Indonesia. En este caso se desacelera la circulación general atmosférica e hidrosférica a través de la parte meridional del Océano Pacífico. Por lo consiguiente, la Corriente del Perú se vuelve débil, y el agua relativamente cálida a lo largo de la costa peruana penetra en la Corriente Ecuatorial del Sur. Berlage explica además que las altas presiones en la parte este del Pacífico Sur y las presiones bajas en Indonesia producen una aceleración en la "Oscilación Austral". En este caso, la Corriente del Perú y los vientos alisios del sudeste son más fuertes y se reducen las temperaturas superficiales del mar. Quinn y Burt (1970) concluyeron además que el Niño se relaciona a las anomalías oceánicas y atmosféricas de gran escala, asociadas con la Oscilación Austral que produce interacciones interhemisféricas inusitadas en el Pacífico ecuatorial. Los períodos anormales de grandes cantidades de lluvia sobre la zona seca ecuatorial al oeste de 140°W, se han asociado a las condiciones del Niño que empezaron anteriormente en el año al este de las islas Galápagos de acuerdo a Quinn y Burt (1970, 1972).

CONDICIONES DE LA TEMPERATURA OCEANICA DURANTE EL NIÑO DE 1972-1973

Las condiciones de la temperatura superficial del mar en la mayor parte del Pacífico oriental tropical durante febrero de 1972 a abril de 1973, siguieron un patrón en el que (1) hubo un calentamiento rápido de temperatura por debajo de lo normal a más allá de lo normal, seguido (2) por un ligero cambio a temperaturas casi normales, (3) luego un segundo período de calentamiento rápido en el que las temperaturas alcanzaron un nivel mucho más alto que lo normal que persistió varios meses, y finalmente (4) un regreso rápido a las temperaturas normales o más frías que lo normal. En general, los cambios en las pautas de la temperatura de la superficie del mar fueron más complejos a lo largo de la costa sudamericana y al oeste de las islas Galápagos de lo que fueron más lejos fuera de la costa. Además, los índices de los cambios de temperatura y su desviación de lo normal fueron frecuentemente mayores a lo largo de la costa de lo

que fueron en las aguas ecuatoriales fuera de la costa. Las desviaciones de la media a largo plazo de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico oriental tropical en enero de 1972 a abril de 1973 se presentan en las Figuras 2 a 9.

Período inicial de calentamiento

Las temperaturas más frías que lo normal persistieron generalmente sobre la mayoría del Pacífico oriental tropical desde fines de 1969 a enero de 1972 (gráfico de anomalías de enero 1972 presentado en la Figura 2a). En febrero de 1972, cuando las temperaturas del agua de 100 a 300 millas al sudeste de las islas Galápagos aumentaron más de 6°F (3.3°C) que las del mes anterior, se indicó un cambio a condiciones de temperaturas más cálidas en el océano, que condujeron luego al Niño de 1972-1973 (Figura 2b). El calentamiento debilitó también las condiciones de temperatura por debajo de lo normal que habían persistido durante varios meses a lo largo de la zona ecuatorial al oeste hasta los 145°W. El calentamiento continuó y fue más prominente en marzo de 1972 (Figura 3a) cuando las anomalías positivas de temperatura aparecieron en la mayoría de la zona ecuatorial desde la costa sudamericana hasta los 145°W. Las desviaciones negativas de la media a largo plazo persistió al oeste de esta longitud, pero con magnitudes reducidas. Las temperaturas en las áreas frente a Guayaquil, Ecuador, y a lo largo del ecuador desde los 120°W a 140°W fueron 6°F (3.3°C) más altas en marzo de 1972 que en marzo de 1971.

La tendencia de calentamiento que ocurrió en febrero y marzo de 1972 parece estar relacionada a vientos más suaves de lo normal que redujeron el afloramiento, y a una cubierta de nubes inferior a lo normal, y a un aumento de la radiación solar. Estas condiciones atmosféricas se asociaron con un cambio al sudoeste del centro de alta presión del hemisferio austral y a un cambio al sur de los 5° de latitud, de la convergencia inter-tropical.

Regreso a la normalidad

Las temperaturas más altas que lo normal continuaron durante abril de 1972 (Figura 3b) entre Sudamérica y las islas Galápagos desde los 5°N a 10°S y se extendieron al norte penetrando el Golfo de Panamá. Sin embargo, no ocurrió una intensificación significativa en la condición de calentamiento; en realidad, las temperaturas cercanas al litoral a lo largo de la costa ecuatoriana volvieron casi a la normalidad. Durante mayo (Figura 4a), las temperaturas de la superficie del mar a lo largo de una estrecha faja de la costa sudamericana desde el ecuador a los 10°S volvió casi a lo normal. Más lejos fuera de la costa aproximadamente desde los 80°W a 88°W las temperaturas permanecieron superiores a lo normal, pero la magnitud de la desviación y duración no fue tan grande como durante el

mes anterior. Las temperaturas entre los 5°N y 5°S desde las islas Galápagos hasta los 120°W fueron tan altas como 4°F (2.2°C) más de lo normal.

La reducción de las temperaturas superficiales del mar a lo largo de la costa sudamericana durante abril y mayo de 1972 se relacionó al restablecimiento parcial del centro de alta presión subtropical frente a Sudamérica y al desarrollo consiguiente de los vientos sudestes a lo largo de la costa que aparentemente produjeron el afloramiento costero. Fuera de la costa los vientos alisios del sudeste permanecieron débiles y el calentamiento a lo largo de la región ecuatorial pareció relacionarse al debilitamiento del afloramiento que comúnmente ocurre allí.

Un segundo período de calentamiento

Un segundo período de calentamiento rápido comenzó en junio de 1972 (Figura 4b). Ocurrió un calentamiento pronunciado fuera a lo largo de la costa sudamericana hasta los 120°W, excepto por una pequeña área frente al Ecuador. Entre los 80°W y 90°W las temperaturas ascendieron tanto como 6°F (3.3°C) sobre lo normal. Fue evidente también un calentamiento extenso en el área al oeste de los 140°W entre los 5°W y 5°N, y una extensión al norte hasta las islas hawaianas, entre los 160°W y 175°W. Durante julio de 1972 (Figura 5a) hubo un incremento pronunciado en el área e intensidad de las temperaturas anómalamente cálidas del océano. Estas condiciones prevalecieron a lo largo de la costa sudamericana, excepto por un área muy pequeña frente a Lima, Perú, debajo de los 10°S al norte penetrando el Golfo de Panamá y en una banda continua a lo largo de la línea ecuatorial hasta los 180°W (y probablemente más allá). La magnitud de las desviaciones positivas excedieron 8°F (4.4°C) en varias áreas a lo largo del ecuador desde los 100°W hasta la costa sudamericana.

Las condiciones del Niño continuaron durante los meses de la primavera austral y hasta enero de 1973, apareciendo generalmente aguas anómalamente cálidas a lo largo de la costa sudamericana y extendiéndose en una banda entre los 10°S y 10°N al oeste hasta los 170°W (Figuras 5b-8b). Entre la costa y los 90°W las anomalías positivas fluctuaron de 2° a 8°F (1.1°-4.4°C) con valores de 4° a 6°F (2.2°-3.3°C) predominando durante la mayoría de los meses. Hubo también periodos en los que en ciertas regiones costeras las temperaturas medias mensuales volvieron a la normalidad, por ejemplo frente al norte del Perú y Ecuador en octubre de 1972 (Figura 6b), y frente a la parte central del Perú en noviembre de ese mismo año (Figura 7a). En aguas a lo largo de la zona ecuatorial entre los 10°S y 10°N y al oeste de los 90°W las anomalías positivas de temperatura fluctuaron de 2° a 8°F (1.1°-4.4°C) predominando los valores de unos 4°F (2.2°C). Hubo una expansión al norte de la anomalía del agua cálida extendiéndose sobre la mayoría del Pacífico oriental tropical desde octubre a diciembre 1972 (Figuras 6b y 7b) con desviaciones positivas

de 2° a 4°F (1.1°-2.2°C) observadas frente a la costa de México. La magnitud de la anomalía durante septiembre 1972 (Figura 6a) fue algo inferior que durante los meses anteriores y los que siguieron. Esto parece relacionarse al restablecimiento parcial de los vientos alisios del sudeste que causaron afloramiento y procesos de interacción aire-mar que enfriaron ligeramente las aguas oceánicas.

Conclusión de las condiciones del Niño

Durante febrero de 1973 (Figura 8b) la extensión y magnitud de la anomalía positiva de temperatura se redujo marcadamente de lo que había sido durante los dos o tres meses anteriores, y fue aparente que el Niño estaba por concluir. Las temperaturas del agua en una faja estrecha a lo largo de la costa sudamericana, excepto por una pequeña área frente al norte de Perú y Ecuador, volvió a ser normal o ligeramente debajo de lo normal. Además la banda de agua anómalamente cálida que se había extendido durante varios meses a lo largo del ecuador desapareció entre los 120°W y 145°W. La magnitud de la anomalía había disminuido en su mayor parte hasta unos 2°F (1.1°C) sobre lo normal, solo con unas pequeñas áreas que alcanzaron 4°F (2.2°C) más de lo normal. En marzo de 1973 (Figura 9a) permanecían solo pequeños parches esparcidos de agua anómalamente cálida. El Niño finalizó en abril de 1973 (Figura 9b) cuando las condiciones de temperatura normales o debajo de lo normal fueron evidentes a lo largo de la mayoría de la costa sudamericana y fuera de la costa en la zona ecuatorial.

ANALOGIAS EN LA TEMPERATURA OCEANICA DURANTE FENOMENOS RECIENTES DEL NIÑO

Aunque la intensidad, duración y áreas de influencia máxima indican alguna variación, los datos de la TSM de las estaciones del litoral y de las islas indican que las tendencias de las pautas anómalas de la temperatura oceánica han sido similares durante períodos en los que las condiciones del Niño han sido bien desarrolladas.

La Figura 10 es una sección cronológica de las anomalías de la TSM, basada en datos de Puerto Chicama, Perú, desde enero de 1925 a enero de 1969, obtenida del LMR. Después de enero 1969, se emplearon los datos de Chimbote, Perú y se ajustaron estadísticamente para Puerto Chicama. Se considera que estos datos representan las condiciones de temperatura de la superficie del mar a lo largo de la costa del Ecuador y Perú. En la Figura 10, los datos han sido realineados para indicar analogías en las pautas de anomalías durante los años más pronunciados del Niño; por lo consiguiente se encuentran interrupciones o repeticiones en los datos en algunos años. Varias características son evidentes en la Figura 10. En la mayoría de los casos, excepto 1930 y desde 1939 a 1941, la primavera y

el verano austral antes del Niño fueron mucho más fríos que lo común, con las aguas costeras frente al Perú significativamente por debajo de la media a largo plazo durante periodos de más de 12 meses. Además, las anomalías positivas de los años fuertes del Niño de 1925, 1941, 1957, 1965 y 1972 fueron todas bimodales. Ocurrió un ápice anómalo en el otoño o a principios del invierno y otro a fines del año o a principios del siguiente. En los años más débiles del Niño de 1930, 1943, 1951, 1953 y 1969, uno de los ápices anómalos, comúnmente el que aparece en el verano austral (diciembre-enero), fue ya sea reducido o ausente. En septiembre u octubre tanto en años débiles como fuertes del Niño, la anomalía positiva alcanzó un valor mínimo. Esto ocurre en la primavera austral cuando la temperatura superficial del mar es mínima en la Corriente del Perú. Durante el máximo del Niño de 1972-1973, las anomalías positivas en Puerto Chicama (Chimbote) aparecieron en mayo de 1972, 5.8°F (3.2°C) y diciembre de 1973, 8.3°F (4.6°C), y la anomalía mínima positiva apareció en octubre de 1972, 2.0°F (1.1°C).

Los ápices bimodales de las anomalías positivas de la TSM que son similares en 1957, 1965 y 1972 se retratan gráficamente en la Figura 10. Debido a la analogía aparente entre estos tres años cálidos, es apropiado examinar más detalladamente los perfiles estacionales de la TSM de otras estaciones ecuatoriales y costeras sudamericanas, de lo que se indica en la Figura 10. Además, en los siguientes párrafos se examinan las divergencias de cada perfil anual de temperatura según la media a largo plazo.

Las Figuras 11 y 12 presentan los cambios estacionales de las temperaturas superficiales del mar y sus divergencias según la media a largo plazo de 1957-1958, 1965-1966 y 1972-1973 de dos estaciones costeras sudamericanas y dos estaciones isleñas ecuatoriales. La media de las curvas estacionales ha sido elaborada según los datos publicados por el National Ocean Survey (NOS) de las islas del Pacífico y de las estaciones costeras (Jones, 1970). Los datos de 1957 y 1965 de Chimbote, Perú (9°S), Arica, Chile (18°S), Isla Christmas (2°N-157°W) y San Cristobal, islas Galápagos (2°S-90°W), fueron obtenidos de una publicación del NOS. Durante 1972, los datos de la TSM de Chimbote e Ilo, Perú (Ilo está situada cerca a Arica, Chile, y no se tienen datos de la TSM en 1972) fueron suministrados por LMR. Como los datos de la TSM de dos estaciones isleñas ecuatoriales (Figura 12) no estaban completos en 1972, se determinaron las estimaciones de los valores mensuales de la TSM, basados en las medias a largo plazo y las anomalías de cada lugar según los análisis mensuales publicados por Laurs (1972).

Es evidente según la Figura 11 que las TSM en 1957-1958 permanecieron muy por encima de la media correspondiente a todo el periodo en Chimbote y sobre la media después de febrero en Ilo. Durante 1965, los perfiles de la TSM fueron similares a los de 1957. En 1972 los valores de

la TSM en cada estación permanecieron inferiores o próximos a la media de largo plazo hasta abril o mayo. Luego, continuaron superiores a la media de largo plazo hasta octubre, cuando la TSM se redujo con respecto a la media de largo plazo en Chimbote e Ilo. A medida que se aproximaba el verano austral (octubre), las TSM al norte de los 10°S aumentaron más rápido que la media a largo plazo y alcanzaron un ápice en enero de 1973. Se calcula que la desviación más grande de la media a largo plazo se presentó a lo largo de la costa al sur de Guayaquil (5°S), donde la anomalía fue de unos + 9°F (5°C) en enero de 1973.

En la Figura 12, es evidente una variación pequeña anual de la TSM en la Isla Christmas y una grande en San Cristobal (islas Galápagos). En todos los tres años del Niño, las curvas de la TSM fueron superiores a la media en el área de las Galápagos en febrero y no volvieron a la media hasta después de febrero del año siguiente. En el área de las islas Galápagos, las desviaciones de 1972 y 1965 de la media fueron muy similares a las de 1957-1958. En la Isla Christmas, las desviaciones significativas de las TSM según la media aparecieron después de junio. Quinn y Burt (1970) pusieron de relieve la demora en el calentamiento en la Isla Christmas.

INFLUENCIA ATMOSFERICA DEL NIÑO EN 1972

Durante los períodos del Niño existen debilitamientos o reducciones en la velocidad de los vientos alisios del sudeste frente a Sudamérica, especialmente al sur de los 15°S, que resultan en una disminución de la fuerza del viento en la superficie, necesaria para mantener la mezcla vertical y el afloramiento en la Corriente del Perú relativamente débil. Este fenómeno se relaciona a los cambios en gran escala de la circulación atmosférica por medio de los cuales el centro subtropical de alta presión cerca a los 30°S-90°W, se desplaza frecuentemente por las tormentas que ocurren más cerca del ecuador en los años del Niño. Cerca al litoral las variaciones en las configuraciones de la línea costera combinadas con gradientes termales, locales, tierra-mar, pueden crear condiciones más o menos favorables para la fuerza local del viento y la mezcla vertical del océano. En los años más cálidos, los gradientes termales costeras y los vientos locales se debilitan en un régimen ya retardado de los vientos alisios del sudeste. La mezcla vertical en la Corriente del Perú se reduce marcadamente y las capas superficiales no se enfrían ya efectivamente a causa del agua fría profunda.

Como la circulación atmosférica en el Pacífico del sur juega un papel importante en mantener y disminuir el afloramiento (inducido por el viento) en la Corriente del Perú, se examinaron las variaciones en el gradiente de presión de la superficie del mar entre los 30°S-90°W, cerca

al centro climatológico del centro de alta presión del Pacífico sudeste y una estación en la costa del Perú a los 16°S. Las anomalías en el gradiente de presión suministraron un índice semanal de la fuerza general de los vientos alisios del sudeste por encima de una porción de la Corriente del Perú. Los datos de presión fueron obtenidos de gráficos globales de la presión superficial, preparados dos veces al día por el National Weather Service (NWS), Washington, D. C.

Durante el Niño de 1972-1973, prevalecieron dos pautas principales de la presión superficial sobre la parte oriental del Pacífico sur. Durante periodos de 7 a 14 días, los vientos alisios del sudeste fueron relativamente constantes y fuertes. La Figura 13a presenta un análisis de la presión superficial preparado por el NWS, en el que el centro de alta presión de la región sudeste del Pacífico subtropical fue la característica dominante frente a la costa sudamericana a mediados de julio de 1972. Las pautas de presión de este tipo produjeron gradientes de presión típicos de aquellos periodos cuando los vientos alisios del sudeste al sur de los 15°S fueron lo suficientemente fuertes para inducir una mezcla vertical y mantener el afloramiento en la Corriente del Perú. En contraste, hubo periodos frecuentes de 15 a 20 días en 1972-1973, cuando los centros de baja presión y los frentes atmosféricos se desplazaron hacia la costa entre los 20°S y 30°S. Un ejemplo de esta situación se indica en la Figura 13b. El pasaje sucesivo de áreas de baja presión, al este, pasando los 30°S-90°W causó un desvanecimiento del centro subtropical de alta presión sobre la región sudeste del Pacífico y los vientos alisios del sudeste se redujeron marcadamente. Durante los años fríos o en los que no apareció el Niño, los frentes atmosféricos y los centros de baja presión viraron comúnmente hacia el polo cerca a los 30°S y al oeste de los 100°W, y el centro sudeste de alta presión permaneció intenso. Wooster y Guillén (1974) indicaron que en Lima, Perú y en cualquier otro lugar a lo largo de la costa, las presiones superficiales fueron más bajas que lo normal en 1972, lo cuál estuvo de acuerdo con el desplazamiento al sur de la zona de convergencia intertropical durante los periodos del Niño. Parece que los sistemas meteorológicos en 1972 tuvieron más trayectorias hacia el ecuador debido probablemente a que las corrientes principales que gobiernan la troposfera o corrientes de chorro (jet streams) sobre el hemisferio austral no se encontraron en su posición usual la mayor parte del año. Recientemente, Krueger y Winston (1974) examinaron las anomalías en el flujo de la corriente ecuatorial de la troposfera sobre el Pacífico oriental. Indicaron que los vientos ecuatoriales de levante eran comúnmente débiles desde la superficie hasta los 700 mb (aproximadamente 3.5 km), y los vientos alisios del sudeste se reducían al sur de los 20°S frente a la costa sudamericana en asociación con un aumento (anómalo) del flujo de corriente ciclónica al oeste de los 90°W al nivel de 700 mb. Namias (1972) indicó que basado en datos de 20 años (1947-1966) en el Pacífico norte, las anomalías de los niveles a 700 mb y de la TSM tienen altas correlaciones negativas, y que existen tele-

conexiones similares sobre el Pacífico entre las temperaturas de la superficie del mar y los niveles a 700 mb.

La Figura 14a indica que ocurrieron frecuentemente períodos alternativos superiores a lo normal y debajo de lo normal de los gradientes de presión, frente a la costa sudamericana comenzando en enero de 1972. Aparentemente la gran reducción en la presión entre los 30°S-90°W y la costa del norte de Chile y la región central del Perú durante abril, marzo, junio, agosto y noviembre de 1972, causó suficiente debilitamiento en los vientos alisios del sudeste para mantener el afloramiento a un mínimo en la Corriente del Perú, aunque hubo también períodos más cortos en los que los gradientes de presión fueron muy superiores a lo normal. La media de las presiones mensuales según los datos del International Geophysical Year de 1957-1958, revelaron una reducción en los gradientes de presión frente a Sudamérica similar en tiempo a los de 1972 (Figura 14).

*Si se promedian los datos de los gradientes de presión de 1972-1973 presentados en la Figura 14a cada mes, la curva resultante, que indica la desviación del gradiente de presión normal (media a largo plazo), presenta cambios estacionales similares a la curva del gradiente de presión de 1957-1958. Aunque el índice del gradiente de presión en la Figura 14 muestra solo un índice aproximado de la fuerza de los vientos de levante frente a Sudamérica, indica que ocurren frecuentes interrupciones o debilitamientos en la fuerza del viento en la Corriente del Perú en los años del Niño, y que estos debilitamientos se reflejan en las temperaturas superficiales del mar en las estaciones costeras sudamericanas.

En la Figura 14b, se despliegan las desviaciones de la TSM de la media a largo plazo de la TSM en Puerto Chicama, para mostrar el acuerdo con las fluctuaciones en el gradiente de presión. Parece que las grandes desviaciones negativas de la TSM siguieron un gradiente de presión superior a lo normal a fines de 1971 en la temporada de verano austral. Un aumento agudo en la TSM en Puerto Chicama fue evidente después de mediados de febrero correspondiendo en tiempo a grandes desviaciones negativas de presión frente a la costa sudamericana. Luego, se debilitó el gradiente de presión durante períodos prolongados, especialmente en junio y agosto 1972 (Figura 14a). Las desviaciones más grandes de la TSM de la media a largo plazo se encuentran durante este período (Figura 14b). Después de septiembre los períodos de los vientos alisios más débiles del sudeste fueron mucho más cortos, y la TSM fue casi normal hasta fines de noviembre. El segundo calentamiento y el más pronunciado apareció en diciembre después de una reducción aguda del gradiente de presión. En esta época dos aumentos cortos en el gradiente de presión reflejaron aparentemente solo aumentos temporales en los vientos alisios del sudeste. La conclusión del calentamiento costero y el principio de un rápido enfriamiento fueron aparentes después de febrero de 1973, 1 año después de haber comenzado el Niño.

COMENTARIOS FINALES

En 1972-1973, como en otros períodos del Niño, la tendencia del calentamiento del océano empezó en el área de la Corriente del Perú frente al Ecuador y Perú, y se extendió al occidente y al polo en ambos hemisferios con la llegada del invierno austral. En esta época, las mayores convexidades y depresiones de alta presión cambiaron aparentemente su posición normal en el hemisferio austral permitiendo que penetrara una sucesión de sistemas de baja presión de latitudes medias en los trópicos del hemisferio austral. Esto resultó en una reducción de los gradientes de presión de la superficie sobre una gran porción en la región del Pacífico oriental del sur y por lo consiguiente el debilitamiento de los vientos alisios del sudeste a lo largo de la costa sudamericana, al norte de los 15°S y a través del Ecuador. Debido al debilitamiento de los vientos alisios del sudeste, el afloramiento disminuyó y otros procesos de interacción aire-mar afectaron de tal manera que las aguas superficiales de la Corriente del Perú y su extensión ecuatorial se calentaron a temperaturas superiores a lo normal.

La causa o causas de los cambios anómalos en el océano y la atmósfera sobre el Pacífico del sur no se conocen completamente y se necesita investigar mucho más para determinar el grado de intercambio océano-atmósfera durante un fenómeno del Niño. Es muy probable que una vez que el calentamiento ecuatorial principia, la atmósfera se transforma localmente por el aumento sensible de calor que se encuentra en el océano. Como resultado, la nubosidad baja disminuye sobre la Corriente del Perú y una cantidad mayor de energía solar alcanza la superficie oceánica.

En el futuro, los satélites colocados sobre el área ecuatorial deben ayudar a descubrir el comienzo y la magnitud de los fenómenos del Niño al obtener frecuentemente datos sobre la temperatura terrestre y nubes. Por ejemplo, los datos de los satélites de ATS3 y NOAA2 revelaron una reducción significativa en los estratos de nivel bajo a lo largo de las costas del Ecuador y al norte del Perú durante el Niño de 1972-1973. Nubes finas de estratocúmulos con grandes aberturas en la cubierta de nubes se vieron usualmente según las fotografías del satélite en 1972 cuando las anomalías positivas de la TSM eran extensas a lo largo de la costa sudamericana. A veces cuando la región de la Corriente del Perú era fría, una capa gruesa de estratos se extendía comúnmente al oeste y al Ecuador sobre el agua fría. Quinn y Burt (1970) indicaron además el uso potencial que podría obtenerse de los datos del satélite al vigilar las condiciones del Niño.

El Niño de 1972-1973 fue intenso, y sus efectos ampliamente distribuidos a lo largo de la costa sudamericana. Por ejemplo, las condiciones atmosféricas y la pesca de anchoveta fueron aparentemente afectadas marcadamente por las condiciones caldeadas del agua. A lo largo de la costa sudamericana, empezaron a caer fuertes lluvias tropicales en diciem-

bre de 1971 y se extendieron hacia el sur a medida que se desarrollaba el fenómeno del Niño. En Guayaquil, Ecuador, la lluvia tuvo un promedio de 11 pulgadas (275 mm) por mes entre enero y abril de 1972, que es 10 veces la lluvia mensual normal. Las lluvias tropicales amainaron algo durante abril y mayo del Ecuador al Perú, pero aumentaron de nuevo fuertemente en junio a lo largo de la costa en la región central del Perú. Hubo otra calma en las lluvias tropicales de agosto a noviembre. Sin embargo, a medida que las temperaturas del océano ascendieron a un alto grado en la Corriente del Perú en diciembre de 1972 y enero de 1973, se renovaron las lluvias tropicales (en enero de 1973 cayeron 701 mm en Guayaquil) y causaron inundaciones en Perú y Ecuador.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Berlage, H. P. 1966. The southern oscillation and world weather. Mededeel Verhandel., Ned. Meteor. Inst. 88: 152 p.
- Bjerknes, J. 1961. El Niño study based on analysis of ocean surface temperatures, 1935-57 (in English and Spanish). Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull. 5 (3): 217-303.
- _____. 1966. Survey of El Niño 1957-58 in its relation to tropical Pacific meteorology (in English and Spanish). Inter-Am. Trop. Tuna Comm., Bull. 12 (2): 25-86.
- Currie, R. 1953. The Callao Painter. Weather 8 (10): 308-311.
- Gunther, E. R. 1936. A report on oceanographical investigations in the Peru coastal current. Discovery Rep. 13: 107-276.
- Hawken, C. G. G. 1973. The Holy Child Current, Peruvian waters. The Mar. Observ. 63 (239): 11 (Meteor. Office 859, Her Majesty's Stationary Office, England).
- James, P. A. A. 1953. Aguaje, the Callao Painter. Weather 8 (7): 208-209.
- Johnson, J. H., G. A. Flittner and N. W. Cline. 1965. Automatic data processing program for marine synoptic radio weather reports. U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep., Fish. 503: iv + 74 p.
- Jones, D. A. 1970. Surface water temperature and density, Pacific coast. NOS Publ. 31-3, third edition.
- Krueger, A. F. and J. S. Winston. 1975. Large scale circulation anomalies over the tropics during 1971-72. National Environmental Satellite Service (in preparation).
- Laurs, R. M. 1972-1973. Fishing information. U. S. Dept. Commerce, NOAA, Nos. 1-12, 1972 and Nos. 1-4, 1973.
- Murphy, R. C. 1926. Oceanic and climatic phenomena along the west coast of South America during 1925. Geogr. Rev. 16 (1): 26-54.
- Namias, J. 1972. Space scales of sea-surface temperature patterns and their causes. Fish. Bull. (U. S.) 70 (3): 611-617.
- Quinn, W. H. and W. V. Burt. 1970. Prediction of abnormally heavy precipitation over the equatorial Pacific dry zone. J. Appl. Meteor. 9 (1): 20-28.
- _____. 1972. Use of the southern oscillation in weather prediction. J. Appl. Meteor. 11 (4): 616-628.
-

- Schott, G. 1931. Der Peru-Strom und seine nördlichen nachbargebiete unter normaler und abnormaler ausbildung. Ann. Deut. Hydrogr. U. Mar. Meteor. 59: 161-160, 200-213, 240-252.
- Sears, M. 1954. Notes on the Peruvian coastal current. 1. An introduction to the ecology of Pisco Bay. Deep-Sea Res. 1 (3): 141-169.
- Stevenson, M. R., O. Guillén G. and J. Santoro de Ycaza. 1970. Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America. Univ. California Press., 23 p. and charts.
- Wooster, W. S. 1960. El Niño. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 7: 43-45.
- Wooster, W. S. and O. Guillén. 1974. Characteristics of El Niño in 1972. J. Mar. Res. 32 (3): 387-404.
- Wyrtki, K. 1964. The thermal structure of the eastern Pacific Ocean. Deut. Hydrogr. Zeit. Ergänzungsheft. A, 8 (6): 84 p.
-