

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
BOLETIN

VOLUMEN 3

NUMERO 2

CARACTERISTICAS DE "EL NIÑO" EN 1972

por

Warren S. Wooster* y Oscar Guillén**



1974

CARACTERISTICAS DE "EL NIÑO" EN 1972

por

Warren S. Wooster y Oscar Guillén

(Figuras 1-11)

I N D I C E

	Pág.
RESUMEN.....	44
CARACTERISTICAS DE EL NIÑO EN 1972.....	45
TEMPERATURA SUPERFICIAL.....	46
Temperaturas superficiales en el Pacífico oriental tropical.....	46
Temperaturas Superficiales cerca de la Costa Peruana.....	48
Temperaturas en las Estaciones Costeras Peruanas.....	49
SALINIDAD SUPERFICIAL.....	51
Distribución promedio de la salinidad superficial.....	51
Distribución de la salinidad superficial en 1972 y 1965.....	52
Origen de las aguas cálidas superficiales.....	53
LISTA DE FIGURAS.....	58
REFERENCIAS	59
FIGURAS.....	61

CARACTERISTICAS DE EL NIÑO EN 1972

Warren S. Wooster* y Oscar Guillén**

RESUMEN

Las características del evento "El Niño" de 1972 fueron examinadas usando descripciones mensuales de temperaturas superficiales del mar, en el Pacífico oriental tropical y en la región costera del Perú; así como promedios mensuales de temperaturas de estaciones costeras del Perú y datos de temperatura y salinidad superficiales de cruceros oceanográficos. Las observaciones fueron comparadas con las de los eventos anteriores, especialmente el de 1965 y se establecieron algunas características generales del fenómeno. Se encontró una correlación negativa entre los datos de anomalías de presión atmosférica del aeropuerto de Lima y las anomalías de temperaturas superficiales frente a la costa central y norte del Perú.

En marzo de 1971 se hicieron evidentes los primeros indicios del evento de 1972 y el calentamiento de la costa meridional del Perú puede haber comenzado en agosto de 1971.

* Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California; presente dirección: Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida 33149.

Esta investigación fue subvencionada por Marine Life Research Program, California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation y Office of Naval Research.

** Instituto del Mar del Perú. Apartado 3734. Lima-Perú.

CARACTERISTICAS DE EL NIÑO EN 1972

Warren S. Wooster* y Oscar Guillén**

La designación de El Niño se aplica a grandes disturbancias oceánicas que ocurren de tiempo en tiempo frente a la costa de Sudamérica. A este evento se atribuye importantes efectos biológicos, incluyendo bajas en la productividad, redistribución de la fauna tropical y subtropical y reducciones en la abundancia y/o disponibilidad de las poblaciones pesqueras, con más notoriedad en la Anchoveta Peruana.

Este trabajo trata de los cambios en la circulación oceánica y las condiciones físicas observadas o inferidas durante los eventos de El Niño. Características importantes del fenómeno como los que han sido evidentes a lo largo de la costa peruana se han hecho familiares en años recientes (ver Wooster 1960; Bjerknes, 1961, 1966). La causa inmediata parece ser el debilitamiento general de la circulación de los vientos alisios del hemisferio sur con las siguientes consecuencias:

- 1.—El afloramiento costero se debilita o cesa.
- 2.—Con el debilitamiento de la divergencia costera, las aguas oceánicas de alta temperatura y salinidad se aproximan a la costa.
- 3.—Las aguas ecuatoriales de alta temperatura y baja salinidad se extienden en una capa delgada hacia el sur a lo largo de la costa, mucho más allá de su acostumbrada posición de verano.

No obstante la incrementada documentación durante los últimos años sobre las ocurrencias de "El Niño", importantes aspectos permanecen inexplicables; ésto incluye la iniciación y el decaimiento de las condiciones anómalas, las diferencias entre las ocurrencias principales y secundarias, la relativa importancia de los orígenes diversos de las aguas cálidas observadas, variaciones latitudinales en el tiempo e intensidad del fenómeno y la relación entre las condiciones locales frente a la costa oeste de Sudamérica y las de gran escala, especialmente en el lado oeste de la región ecuatorial.

Los estudios del fenómeno "El Niño" siempre se han visto obstaculizados por la escasez de datos relevantes del Pacífico oriental tropical. El Instituto del Mar ha realizado muchos estudios para mejorar la situación durante la década pasada, pero todavía hay importantes deficiencias observacionales que continúan perturbando al investigador, especialmente en el océano, más allá de las 100 millas de la costa y en la atmósfera a lo largo de ésta. Hay una necesidad particular de datos sobre la fuerza de arrastre de los vientos, para comparaciones con las variaciones en la circulación y las características de las aguas próximas a la superficie.

La ocurrencia del fenómeno "El Niño" en 1972 dio lugar al presente estudio, en el cual hemos utilizado las observaciones disponibles para re-

construir el desarrollo del fenómeno y relacionarlo a las condiciones en otra parte del Pacífico tropical y las características de ocurrencias anteriores.

TEMPERATURA SUPERFICIAL

Temperaturas superficiales en el Pacífico oriental tropical

Descripciones mensuales de las temperaturas superficiales del Océano Pacífico y sus desviaciones del promedio de muchos años son publicados rutinariamente por el Servicio Nacional de Pesquería, Marina y del Departamento de Comercio de Estados Unidos (1971-1973). Estas descripciones son más detalladas al norte de los 20°N; en la zona tropical, donde se centra nuestro interés, los datos son relativamente dispersos pero parecen adecuados para revelar los principales aspectos y cambios.

Durante gran parte de 1971, la región ecuatorial del Pacífico oriental estuvo dominada por temperaturas por debajo de lo normal (con anomalías negativas referentes al promedio de muchos años que alcanzaron ocasionalmente más de 6°F/3.3°C), sugiriendo que el afloramiento ecuatorial fue más intenso que el usual.

El primer cambio significativo y permanente apareció en enero 1972 (Fig. 1 a) cuando las anomalías positivas excedentes de 4°F/2.2°C fueron observadas a varios cientos de kilómetros al oeste del Perú.

Este cambio pudo ser anticipado por el calentamiento en la costa sureña del Perú el cual, como veremos después, parece haber empezado a fines de 1971. En Febrero, comenzaron a desaparecer en el este las regiones de anomalías negativas, y en Marzo-Abril, mucha de la región ecuatorial al este de los 140°W era más cálida que la usual.

En particular, frente al Perú y Ecuador, las anomalías positivas alcanzaron valores excedentes de 6°F/3.3°C. Mes a mes, el área de anomalías positivas se extendió al oeste a lo largo del ecuador (más allá de los 180° en Junio), y las anomalías aumentaron en magnitud (a más de 8°F/4.4°C en Julio; Fig. 1 b). Durante gran parte de 1972, especialmente después de Junio, las temperaturas superficiales del mar sugirieron que el afloramiento ecuatorial estaba desusualmente débil; las anomalías positivas dominaron la región ecuatorial desde Sud-América hasta por lo menos la línea internacional de fecha (180°) extendiéndose en el norte más allá de 10° N y con valores comúnmente mayores que 6°F/3.3°C al este de 120°W. Este patrón continuó hasta enero de 1973.

La recuperación de las condiciones normales ocurrieron los próximos tres meses. En febrero, el afloramiento ecuatorial se había reiniciado en varias regiones al oeste de las Islas Galápagos (a 90°W.); en abril, se expandieron las anomalías negativas, extendiéndose hasta muy al oeste a lo largo del ecuador.

Buscando los antecedentes del fenómeno de 1972, es muy útil comparar las temperaturas superficiales del mar con aquellas del año anterior. Desde marzo de 1971 (Fig. 2 a), las aguas ecuatoriales entre el continente y aproximadamente a 100°W fueron significativamente más cálidas que en el año anterior. Esto sugiere que el afloramiento ecuatorial ya había empezado a decrecer en intensidad a principios de 1971, aunque como se indica anteriormente, éste no cayó significativamente debajo de lo normal hasta un año después. En enero de 1972, no sólo fue una anomalía caliente (relativa al promedio de muchos años) aparentemente alejada de la parte costera frente a Sud-América (Fig. 1 a); gran parte del océano tropical oriental hasta los 120°W era ya significativamente más cálido que en enero de 1971 (Fig. 2 b).

Para interpretar las temperaturas anómalas observadas, primero se debe examinar la distribución del promedio de la temperatura superficial del mar en el Pacífico oriental (Ver Wirtki; 1964). El ecuador termal se sitúa al norte del ecuador geográfico todo el año, cayendo entre 5° y 15° N dependiendo de la longitud y de la estación. Una banda de temperaturas mínimas se extienden a lo largo, o justamente al sur del ecuador desde las Islas Galápagos hasta por lo menos los 140°W , que aparece desarrollada más intensamente en el invierno meridional (Fig. 3 a). A lo largo de la costa peruana, las isoterma tienden a ser paralelas a la costa a través del año, ambas, las temperaturas costeras bajas y las ecuatoriales mínimas se atribuyen al afloramiento producido por los vientos, los cuales son más intensos en el invierno meridional.

Las aguas costeras frías del Perú y su proyección hacia el oeste, son separadas de las aguas calientes de la región ecuatorial por un frente que se extiende desde el norte del Perú hasta más allá de las Islas Galápagos. La posición y extensión de este frente desempeña un importante papel en El Niño.

Una característica más impresionante, y todavía inexplicable, sobre la distribución de la temperatura superficial en el Pacífico sur oriental, indicada por Bjerknes (1961), es la lengua de agua cálida que se extiende hacia el sureste desde las Islas Galápagos hasta la parte norte de Chile, más allá de los 20°S . Esta lengua está desarrollada más intensamente en enero (Fig. 3 b), pero es evidente desde noviembre hasta abril. Bjerknes (1961) propuso de que ésta es alimentada por la contracorriente ecuatorial del sur, posiblemente aumentada por el flujo hacia el este cerca del ecuador (desde una "Corriente Cromwell pegada a la superficie") y algunas veces por flujos transecuatoriales de agua tropical cuando los vientos alisios del sureste están débiles o ausentes. Las cartas de Wyrтки (1964) sugieren que la lengua cálida puede ser derivada por lo menos inicialmente, desde el flujo hacia el este al sur del ecuador; el calentamiento local puede ser también importante.

Como se anota anteriormente, las temperaturas anómalas fuera de la costa indican que el fenómeno de "El Niño" 1972 ya había empezado en ene-

ro de 1972. Durante este mes, la lengua cálida está normalmente bien desarrollada (Fig. 3 b) con una región más caliente de 25°C centrada aproximadamente a 10°S , 85°W . En enero de 1972 el patrón de distribución de la temperatura superficial no fue conspicuamente diferente de la distribución promedio.

En mayo fue evidente que el desarrollo normal de la lengua ecuatorial de agua fría no tuvo lugar al oeste de las Galápagos; en junio (Fig. 4 a) cuando el frente ecuatorial está generalmente fuertemente desarrollado entre las Galápagos y el continente, un desusual rompimiento de aguas cálidas tropicales hacia el sur parece haber ocurrido. El volumen resultante de agua cálida fue evidente todavía en julio; puede haber ocurrido otra incursión en agosto (Fig. 4 b) transecuatorial, y la distribución de la temperatura superficial fue bastante diferente de lo normal, ya que la lengua ecuatorial usual de agua fría (Fig. 3 a) estuvo enteramente ausente desde las Islas Galápagos hasta muy al oeste. Una característica más normal fue evidente en setiembre, aunque las temperaturas permanecieron altas. En octubre el volumen de aguas cálidas alejadas de la costa empezaron a reformarse varios meses antes de lo normal; los pocos datos disponibles sugieren que otros flujos transecuatoriales de aguas tropicales podrían haber ocurrido en noviembre y febrero de 1973.

Temperaturas Superficiales cerca de la Costa Peruana

El promedio mensual de las temperaturas superficiales para el período 1928-1969, han sido recopilados por Zuta y Urquiza (1972) para la región de la Costa Peruana (3° a 18°S) lejos de la costa hasta 86°W . Las cartas basadas sobre estos promedios muestran la expresión costera de las características anotadas anteriormente, incluyendo las variaciones estacionales en la intensidad y posición del frente ecuatorial tal como éste intersecta a la costa y el desarrollo anual de la lengua cálida lejos de la costa. Adicionalmente, las posiciones de los centros de afloramiento son indicados; la región de afloramiento durante todo el año a los 14° - 16°S es particularmente notable.

Para cada mes, el Instituto del Mar prepara cartas de temperatura promedio de la superficie del mar y de las anomalías de promedios de muchos años (1939 - 1952 hasta diciembre 1971, 1928 - 1969 para los meses que siguen). Estas cartas nos permiten seguir el mejor desarrollo de las manifestaciones costeras de "El Niño" de 1972, con mayores detalles que las cartas de áreas extensas discutidas anteriormente.

Las condiciones a lo largo de la costa central y norte del Perú, al norte de los 14°S muestran que las condiciones son diferentes en varios aspectos de aquellas más al sur, y es muy útil considerar estas dos regiones por separado. En la región norte no hay ningún patrón consistente de anomalías durante 1971; en enero de 1972, las temperaturas superficiales fueron lige-

ramente más bajas que las usuales (Fig. 5a). La situación cambió drásticamente en febrero (Fig. 5b), cuando un régimen cálido (con anomalías de más de 3°C) fue establecido hacia el sur hasta 10°S. Este régimen se extendió al sur hasta los 13°S en marzo, hasta los 15°S en abril, y hasta los 17°S en mayo.

La intensidad del calentamiento también incrementó y de mayo hasta agosto fueron comunes las anomalías mayores de 3°C en toda la región norte.

En setiembre, la intensidad del calentamiento comenzó a decrecer, y la región norteña fue solamente 1°-2°C sobre lo normal en noviembre. Pero en diciembre de 1972 el calentamiento intenso retornó, y las anomalías de 2°-6°C prevalecieron en la región. Recién en marzo de 1973, las temperaturas costeras retornaron a la normalidad.

En la región meridional, la escasez de datos hace más difícil para identificar el patrón de cambio. Ya desde agosto de 1971, un área significativa (16°-18°S, 74°-76°W) tuvo un calentamiento alrededor de 1.5°C y en setiembre la zona costera de 13°-17°S estuvo con un calentamiento de cerca de 1°C. Hay pocas observaciones de octubre y diciembre, pero en noviembre y enero de 1972 (Fig. 5a) el calentamiento sureño fue establecido claramente. Después de esto, mientras que el calentamiento norteño se extendió hacia el sur, la situación frente al sur del Perú no era clara, pero en mayo las aguas a lo largo de la costa entera fueron cálidas, sugiriendo que los dos regímenes de calentamiento se habían unido. Esta situación continuó hasta agosto de 1972, con las anomalías en la región sur generalmente de 1°-2°C más pequeños que en el norte. Comenzando en setiembre de 1972, las temperaturas anómalas cerca de la costa en el sur empezaron a disminuir, y por noviembre-diciembre de 1972 las temperaturas costeras del sur estuvieron cerca de lo normal, aunque un poco de calentamiento todavía se presentaba lejos de la costa. Una vez más, en enero 1973, anomalías cálidas de 1.5° a aproximadamente 4°C estuvieron presentes; las cuales disminuyeron significativamente en febrero, para luego normalizarse las condiciones en marzo de 1973.

Temperaturas en las Estaciones Costeras Peruanas

Los valores promedio mensuales de la temperatura superficial del mar disponibles para el Puerto de Chicama (7.42°S) desde 1925 (Rep. Perú 1962), han sido a menudo usadas para demostrar la ocurrencia del fenómeno "El Niño" (por ejemplo, ver Rodewald, 1958; Roden, 1962). Recientemente, pequeñas series de datos similares de la Cía. Marítima Pesquera, de las estaciones de Paita (aprox. 5°S), Chimbote (aprox. 9°S), Huarmey (aprox. 10°S) y Chancáy (aprox. 11.5°S), estuvieron disponibles al Instituto del Mar de tal manera que actualmente es posible comparar la intensidad y tiempo

de las condiciones anómalas en varias latitudes en el norte y centro del Perú. Nótese que los períodos relativamente cortos son usados para computar los promedios y las anomalías de estas series: 10 años para Paita, 15 años para Chimbote y Huarmey y 23 años para Chancay.

Las observaciones de estas estaciones son razonablemente coherentes y los fenómenos pueden ser identificados como comunes para todos ellos (ver Fig. 6). Durante las últimas décadas aparecen como Niños secundarios los de 1951, 1953 y 1969, y Niños principales los de 1957, 1965 y 1972. Períodos de baja temperatura son también evidentes; siendo en años recientes el período frío de 1967-1968 el más notable.

Los eventos del fenómeno El Niño de mayor notoriedad como lo indicado por las temperaturas anómalas, tienen las siguientes características: comienzan en febrero-mayo y duran de 10 a 14 meses. Las temperaturas de anomalías máximas ocurren en mayo-julio y tienen comúnmente valores de 2.0 a 4.0°C seguido por un máximo secundario de cerca de la misma magnitud en diciembre o enero. La mínima intermedia es generalmente en setiembre u octubre cuando la anomalía disminuye a 0.5°C o menos. El Niño de 1972 fue notable por sus máximas anomalías las cuales excedieron a 4°C (a 5.4°C en Huarmey en diciembre de 1972), y las anomalías mínimas fueron mayores que la usual (1.3°C en Chimbote, 2.6°C en Huarmey).

Los eventos de Niños secundarios, tal como es indicado por las temperaturas anómalas costeras, tienen las siguientes características: ellos comienzan en marzo-mayo y duran por períodos de dos a siete meses. Las temperaturas de máximas anomalías ocurren en abril-junio y comúnmente tienen valores de 1.5° a 3.0°C. Debido a la corta duración de estos fenómenos no hay una anomalía mínima intermedia notable.

Las variaciones latitudinales en el tiempo y características de los fenómenos no son notorias. No hay ninguna progresión de las condiciones anómalas hacia el sur a lo largo de la costa; en 1972, por ejemplo, grandes anomalías positivas fueron observadas en Chancay (aprox. 12° S) y dos meses antes, ellas fueron observadas en Chimbote (cerca de 9° S) y por lo menos tan temprano como en Paita (cerca de 5°S). Allí, sin embargo, parece haber una ligera tendencia para que las condiciones vuelvan a la normalidad más temprano en el norte (Paita a Puerto Chicama) que en Chancay.

Debe recordarse que estas observaciones, y las conclusiones dadas de ellas sobre las características de "El Niño", son todas al norte de los 12°S (Callao). Sabemos muy poco sobre el fenómeno más al sur. Desde que las condiciones anómalas frente a la costa peruana pueden aparecer primero al sur de los 14°S, es obvia la importancia de intensificar el programa de observaciones en esa parte, así como en la parte alejada de la costa donde puede originarse el calentamiento del sur.

SALINIDAD SUPERFICIAL

Distribución promedio de la salinidad superficial

La distribución promedio de la salinidad superficial es menos conocida que la de la temperatura superficial. Se dispone de alguna información de las cartas mensuales de Bennett (1966) y las cartas trimestrales de Zuta y Guillén (1970).

Las cartas de salinidad superficial de la Expedición EASTROPAC de Octubre - Diciembre 1955 (Bennett, 1963) y los cruceros EASTROPAC de 1967-1968 (Love, 1972) también son útiles.

Las principales características de la distribución de la salinidad superficial son evidentes en las observaciones de los cruceros EASTROPAC de febrero-marzo 1967 (Figs. 7 y 8 muestran sus correspondientes temperaturas superficiales del mar; Love, 1972).

Las relativamente aguas dulces (y cálidas) ecuatoriales están separadas de las aguas más salinas del hemisferio sur por el frente ecuatorial, el que se extiende desde el Ecuador hasta las Islas Galápagos y más allá al oeste. El frente normalmente intersecta la costa entre los 4° y 6° S, siendo más intensamente desarrollados en el invierno meridional, y en el extremo sur en el verano meridional. En la parte sur del frente distante de la costa del Perú, las salinidades superficiales son en cualquier parte mayores de 34.8‰.

A lo largo de la costa norte y central del Perú, la salinidad es relativamente uniforme en la capa superficial de tal manera que el agua aflorada no se distingue por su salinidad. Las cartas promedio de Zuta y Guillén (1970) muestran que las salinidades superficiales en esta región aumentan en la parte alejada de la costa, con valores costeros de 34.9 - 35.0‰ en el verano y 35.0 - 35.1‰ en el invierno. Al sur de los 14°S por otra parte, la salinidad disminuye con la profundidad en la capa superficial, y el agua aflorada puede ser identificada por su relativa baja salinidad. Aquí también, las salinidades superficiales aumentan lejos de la costa; siendo cerca de ella ligeramente más bajas que 34.9‰ durante todo el año.

Las características de salinidad en la lengua cálida alejada de la costa (Fig. 3 b y 8) no son bien conocidas. Las cartas sumarias de Zuta y Guillén (1970) sugieren que los valores allí son altos (mayores que 35.3‰). En muchos casos, las cartas mensuales de Bennett (1966) contienen pocos valores en la región de interés; ellos mantienen la creencia que la parte sur de la lengua, al frente del norte de Chile, es relativamente salina, tal vez más de 35.5‰ (Bennett habla de una "lengua de alta salinidad originada en el este, la cual aproximadamente toca la costa a los 18° - 20°S").

Hasta ahora la carta más extensa de salinidad superficial de las publicaciones de los cruceros EASTROPAC de febrero-marzo 1967 (Fig. 7) mues-

tra que la lengua en esta ocasión fue relativamente dulce (menos de 34.0‰) al norte de 5°S. Las observaciones del proyecto del fenómeno "El Niño" de 1964-1966 (Stevenson, Guillén y Santoro 1970) no son lo suficientemente extensas como para establecer este punto, aunque ellos mantienen la creencia de que las aguas cálidas frente al norte de Chile son relativamente salinas. Esto parece como si las aguas superficiales de la lengua cerca de su origen, en alguna parte en la vecindad de las Islas Galápagos, son relativamente dulces y que luego la salinidad es aumentada por evaporación durante el calentamiento intenso más hacia al sur.

Distribución de la salinidad superficial en 1972 y 1965.

Las distribuciones de las salinidades superficiales observadas en varios cruceros del Instituto del Mar ilustra algunos aspectos del desarrollo del fenómeno "El Niño" 1972. A través de 1971, las salinidades superficiales a lo largo de la costa peruana aparentan ser normales, excepto posiblemente frente al sur del Perú en donde las observaciones en agosto mostraron concentraciones cerca de la playa hasta de 0.1‰. En el primer crucero de 1972, en febrero, las condiciones anormales fueron ya bien establecidas en el norte (Fig. 9). Las aguas superficiales de muy baja salinidad (menos de 34.5‰) se extendieron hacia al sur hasta cerca de los 10°S lejos de la costa y 8°S en la parte costera, algo como 350 km. más allá de su usual posición. Mucho más al sur, más allá de Pisco (14°S), las condiciones parecían ser normales. La invasión de aguas tropicales continuaron por lo menos hasta fines de abril, observándose bajas salinidades todavía a lo largo de la costa hasta los 11°S.

En Junio las aguas tropicales se retiraron, las aguas costeras al norte del Callao fueron normales en salinidad (aunque 3°-4°C más cálidas que el promedio) y permanecieron así hasta noviembre. Mientras tanto, las condiciones anómalas aparecieron al sur de Pisco, con salinidades superficiales costeras hasta de 0.1-0.2‰ más altas (y 1°-2°C más cálida que el promedio). En octubre las salinidades superficiales descendieron con valores debajo de 34.9‰ a lo largo de la costa sureña, sugiriendo la restauración en esta parte de las condiciones normales.

En Diciembre, las aguas tropicales se extendieron nuevamente hacia el sur hasta cerca del Callao (Fig. 10). Lamentablemente, las observaciones de salinidad no fueron efectuadas al sur del Callao, pero las temperaturas al sur de Pisco fueron ligeramente más bajas que el promedio. En enero de 1973, las aguas de baja salinidad estuvieron ausentes en la parte costera, pero aparecieron altos valores al sur de Pisco sugiriendo que el afloramiento allí estaba nuevamente más débil que lo normal. Las observaciones del Crucero UNANUE 7302 del 19 de Febrero - 17 de marzo 1973 (la parte norte del crucero fue en marzo) muestra que el agua tropical de baja salinidad estuvo ausente de la costa peruana al sur de Cabo Blanco; las salinidades superficiales permanecieron algo más altas que lo normal a lo largo de la cos-

ta entera (así como las temperaturas superficiales), sugiriendo que el afloramiento costero todavía no se había reestablecido totalmente. En el siguiente mes, el fenómeno parecía haber finalizado.

Estas observaciones pueden ser comparadas con aquellas hechas en el Niño de 1965 (Guillén, 1967, 1971). Este fenómeno fue razonablemente bien documentado; además de los cruceros del IMARPE, se hicieron observaciones por otros laboratorios participantes en el Proyecto "El Niño" (ver Stevenson, Guillén y Santoro, 1970).

Los registros de temperatura de las diversas estaciones costeras (Fig. 6) muestran que el año 1964 fue más frío que lo normal. Las cartas de salinidad superficial para febrero-marzo, mayo-junio, agosto-setiembre, y noviembre-diciembre de ese año (Stevenson, y otros, 1970) parecen ser todas normales. Durante el crucero de marzo de 1965, aguas de baja salinidad (menor de 34.8%) se extendieron hacia el sur hasta el Callao (12°S). En Abril dichas aguas estuvieron presentes hasta los 8°S en la parte costera y hasta los 10°S lejos de la costa, con temperaturas costeras al sur del Callao de aproximadamente 2°C más cálidas que las usuales. Al sur de Pisco, las temperaturas y salinidades fueron ligeramente altas a lo largo de la costa.

En julio-agosto, las aguas de baja salinidad se retiraron al norte, permaneciendo las temperaturas al norte del Callao casi normales. Al sur de Pisco (cerca de 1°C) temperaturas más altas que lo normal y salinidades ligeramente más altas sugieren la continuación de un Niño de condiciones débiles. En octubre, las temperaturas estuvieron nuevamente 1°C más altas al sur del Callao y las salinidades estuvieron casi normales; más hacia el sur, las condiciones normales fueron restauradas. En el primer crucero de 1966 (febrero) las temperaturas superficiales y salinidades a lo largo de toda la costa fueron un poco diferentes del promedio, y el fenómeno parecía haber finalizado.

Origen de las aguas cálidas superficiales

Los datos de salinidad son útiles para averiguar los orígenes de las aguas cálidas superficiales observadas durante el Niño. Los primeros estudios (Wooster, 1960) sugieren dos regiones como orígenes, cerca de la costa al norte del frente ecuatorial (baja salinidad) y lejos de la costa al oeste de la parte central del Perú (alta salinidad). Ahora, parece que las aguas superficiales de baja salinidad también pueden venir desde cerca de las Islas Galápagos.

Aguas superficiales de baja salinidad están siempre presentes a lo largo de la costa ecuatorial y alcanzan el norte del Perú en el verano del sur. Durante los primeros meses de El Niño, estas aguas participan en el flujo costero hacia el sur, extendiéndose hasta profundidades de 20 - 30 m. Más lejos, al oeste, las aguas de salinidad baja atraviesan el ecuador cerca de las Ga-

lápagos (Fig. 7) y se incorporan en la lengua cálida de verano lejos de la costa. Una sección a través de esta agua (Fig. 14-S-v y 18 en Love, 1972) muestra que ésta, está limitada a una franja superficial de no más de 40 m. de espesor. Esta lengua de baja salinidad está normalmente separada de aquella frente a la costa ecuatoriana por una cuña de aguas de alta salinidad derivada de la Corriente Peruana. Durante el período "El Niño", esta cuña puede estar desarrollada débilmente o desaparecer, y las dos lenguas de baja salinidad tenderán a unirse.

Desafortunadamente, las observaciones lejos de la costa son generalmente inadecuadas para rastrear las aguas provenientes de los Galápagos. Datos disponibles de febrero y diciembre de 1972 (Figs. 9 y 10) sugieren un origen oeste de las aguas de baja salinidad cerca de los 7°S. La indicación más clara, sin embargo, está en una sección entre el Ecuador y Galápagos a principios de 1965 (Fig. 11) cuando ambas capas de baja salinidad se intersecan.

PRESION ATMOSFERICA

Bjerknes (1961, 1966) ha demostrado que el desarrollo de las condiciones del fenómeno en la costa peruana está asociada con las perturbaciones oceánicas sobre una área mucho más grande, siendo estas relacionadas con un debilitamiento de la circulación de los vientos alisios como lo indicado en los datos de presión atmosférica de las correspondientes estaciones de las Islas del Pacífico. Lamentablemente, los datos atmosféricos de la costa peruana no están disponibles para examinar los detalles del fenómeno.

Las observaciones de los vientos superficiales han sido hechas durante los cruceros de investigación del IMARPE, sin embargo registros climatológicos convenientes de vientos, no son apropiados para estudiar la relación entre los cambios no estacionales en la fuerza de arrastre de los vientos hacia el ecuador a lo largo de la costa o el debilitamiento o intensificación del afloramiento costero.

Algunas informaciones sobre los cambios en la circulación atmosférica pueden ser obtenidas de los datos de presión atmosférica costera. Los registros climatológicos peruanos no han sido publicados desde 1965 y los primeros registros están incompletos. Sin embargo, fue posible encontrar los promedios de datos de presión mensual para 1960-1965 para las siguientes estaciones costeras:

Talara (4°34'S), Chiclayo (6°47'S), Trujillo (8°06'S), Callao (12°00'S) y San Juan (15°23'S).

Además, los promedios mensuales de presión (datos) estaban disponibles en el Aeropuerto de Lima (aprox. 12° S) para el período Abril 1949 hasta Enero 1973.

Todas estas estaciones muestran el mismo patrón estacional general, con más bajas presiones en febrero-marzo, y el más alto en junio-setiembre. El rango anual aumenta con la latitud, desde cerca de los 3 mb. (milibares) en Talara a cerca de 6 mb en San Juan. Durante el período 1960-1965, las presiones promedio para los meses de enero a setiembre desde Talara hasta el Callao fueron las más bajas en 1965 (en cada una de estas estaciones, Diciembre de 1965 también presentó presiones muy bajas). Las anomalías de máximas presiones fueron más grandes que 1 mb. Más hacia al sur, en San Juan, en 1965 las presiones bajaron en un rango-medio igual que 1960-65 y no exhibieron algunas características anómalas.

Debido a la similitud de las variaciones de la presión y las anomalías de las estaciones de Talara al Callao, parece razonable usar la serie más prolongada del Aeropuerto de Lima para examinar la relación entre la presión atmosférica y la aparición de El Niño. La comparación de las anomalías de la temperatura costera y la de la presión atmosférica (ploteada con valores disminuidos hacia arriba) muestra una clara semejanza en grupos indicando una correlación fuertemente negativa (Fig. 6). En particular, durante los eventos menores del fenómeno "El Niño", los eventos de "Niños secundarios" de 1951, 1953 y 1969, y los mayores eventos, "Niños principales" de 1957, 1965 y 1972, las presiones estuvieron más bajas que las usuales, (la más grande anomalía negativa de presión registrada, -2.6 mb, fue en agosto 1972). Para los períodos prolongados en 1962-1964, 1967-1968 y 1970-71, las altas presiones prevalecieron, coincidiendo con períodos de temperatura de anomalías negativas.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Hasta aquí, las descripciones del fenómeno conocido como "El Niño" se han basado generalmente en las observaciones de temperaturas de las partes norte y central de la costa peruana. Hoy que se dispone de una mayor variedad de información proveniente de una área más amplia, se hace más evidente que El Niño es una manifestación costera de la naturaleza de un evento de gran escala.

El desarrollo del fenómeno "El Niño" de 1972 puede ser descrito como sigue: Ya en marzo de 1971, las aguas superficiales del Pacífico Ecuatorial al este de los 110°W aumentaron significativamente en temperatura con relación al año anterior. A lo largo de la costa del Perú los pocos datos disponibles de temperaturas y salinidad superficiales al sur de 14°S, sugieren que las condiciones anómalas pueden haberse establecido allí, ya desde agosto de 1971. Más hacia el oeste, las temperaturas superficiales primeramente excedieron del promedio de muchos años en enero de 1972, cuando gran parte del océano tropical al este de 120°W estaba ya significativamente más cálido que en enero de 1971.

En la Costa Norte Peruana, la primera vez que se observó el calentamiento fue en un crucero oceanográfico en febrero de 1972 cuando una extensión de aguas superficiales de baja salinidad (menor de 34.5‰) se extendió hacia el sur a lo largo de la costa hasta los 10°S. Al mismo tiempo, anomalías de altas temperaturas superficiales fueron observadas a 12°S., indicando que la disminución del afloramiento costero estaba ya contribuyendo al calentamiento. Las aguas de baja salinidad se retiraron en junio de 1972, reapareciendo en el período de diciembre 1972 a febrero 1973; las altas temperaturas superficiales persistieron durante todo este período.

Mientras tanto, la región de anomalías altas de temperaturas superficiales se extendieron hacia el oeste a lo largo del ecuador por lo menos hasta los 180°, permaneciendo la zona ecuatorial desusualmente cálida durante enero 1973 con anomalías comúnmente mayores de 3.3°C al este de 120°W.

Durante la mayor parte de 1972, no solamente estuvo ausente la lengua ecuatorial de agua fría, sino que los pocos datos disponibles sugieren que puede haber ocurrido transgresiones ecuatoriales de aguas tropicales hacia el sur y este de las Islas Galápagos en junio, agosto y noviembre de 1972 y nuevamente en febrero de 1973. Hay algunas evidencias de que las aguas de baja salinidad de este origen se aproximaron a la Costa Norte del Perú a comienzos de 1972 y nuevamente en verano de 1972-1973.

En la Costa Sur del Perú, al sur de los 14°S, el carácter y tiempo de ocurrencia de las condiciones anómalas difieren de aquellas de más hacia el norte. Como se menciona anteriormente el calentamiento desusual ha podido comenzar ya en agosto de 1971; las temperaturas normales no fueron restauradas hasta marzo de 1973. Las aguas tropicales superficiales no alcanzan estas latitudes, y la alta temperatura superficial fueron acompañadas por concentraciones de alta salinidad, lo cual indica un afloramiento reducido y de movimiento hacia la costa de aguas superficiales del oeste.

El fenómeno "El Niño" de 1972 tuvo varios aspectos en común con el del 1965, incluyendo la invasión de aguas superficiales tropicales durante el primer trimestre del año. Algunas características de éstos y otros Niños fueron revelados por las series de tiempo de datos de temperaturas superficiales de 5 estaciones costeras entre los 5° y los 12°S. Los eventos principales se presentaron en 1957, 1965 y 1972 y los secundarios en 1951, 1953 y 1969. Los Niños principales se hacen evidentes a partir de febrero frente a la parte norte y central del Perú, con una duración de diez a catorce meses, y son interrumpidos en setiembre u octubre por un período de anomalías reducidas de temperaturas. En contraste, los Niños secundarios no son evidentes hasta antes de marzo y duran de dos a siete meses sin mostrar conspicuamente un mínimo de anomalías intermedias. El fenómeno de 1972 fue muy notable en que el máximo de anomalías excedió de 4°C y el mínimo fue mucho mayor que el de costumbre. Fue también evidente en los registros el período de baja temperatura, siendo particularmente notable el período frío 1967-1968.

Se cree generalmente que el debilitamiento o cesación del afloramiento costero y la invasión de aguas tropicales durante el Niño están asociadas con un debilitamiento de los vientos alisios del sur-este. Aunque no se dispone de datos convenientes sobre vientos para probar esta creencia, los datos de anomalías de la presión atmosférica del Aeropuerto de Lima muestran una correlación fuertemente negativa con las temperaturas superficiales anómalas frente a las costas central y norte del Perú. Las presiones anormalmente bajas asociadas con el Niño son consistentes con una posición desusualmente meridional de la zona de Convergencia Intertropical durante tales eventos.

Wyrski (1973) ha mostrado recientemente que un transporte anormalmente alto de la Contracorriente Ecuatorial en el Pacífico Central durante los fines de ciertos años, precede a una acumulación anómala de agua caliente frente a América Central. El sugiere que estos eventos tienen relación con la ocurrencia de "El Niño" en la parte norte del Perú durante el primer trimestre del año siguiente.

Namias (1973) mostró que estas variaciones en el transporte de la Contracorriente podría tener relación con un índice de la intensidad de los vientos alisios del noreste (i.e. intensidad de las capas superiores de los vientos subtropicales del oeste), siendo asociados los valores bajos del índice con los fuertes transportes de la Contracorriente, con un retardo total de hasta 8 meses entre viento y temperatura frente a América Central.

Las temperaturas superficiales ecuatoriales antes descritas indican que los vientos alisios del sureste se debilitaron a principios de 1971 y el mecanismo discutido por Wyrski y Namias muy bien pueden haberse presentado en el evento de 1972. Sin embargo mientras sus correlaciones enfatizan que el alto transporte de la contracorriente ecuatorial se inicia en el Pacífico Ecuatorial Central con aparición posterior de anómalas aguas cálidas en el este, las observaciones de 1971 y 1972 ilustran otro aspecto en las secuencias, esto es, debilitamiento de los alisios del sureste y una respuesta de la circulación oceánica en la vecindad de las Islas Galápagos, con las condiciones anómalas desarrollándose subsecuentemente hacia el oeste. Un mejor entendimiento y predicción eventual de estos eventos de gran escala podría resultar del establecimiento de un monitoreo de las condiciones oceanográficas y atmosféricas a lo largo del Ecuador y sobre las costas y frente al Ecuador y Perú.

LISTA DE FIGURAS

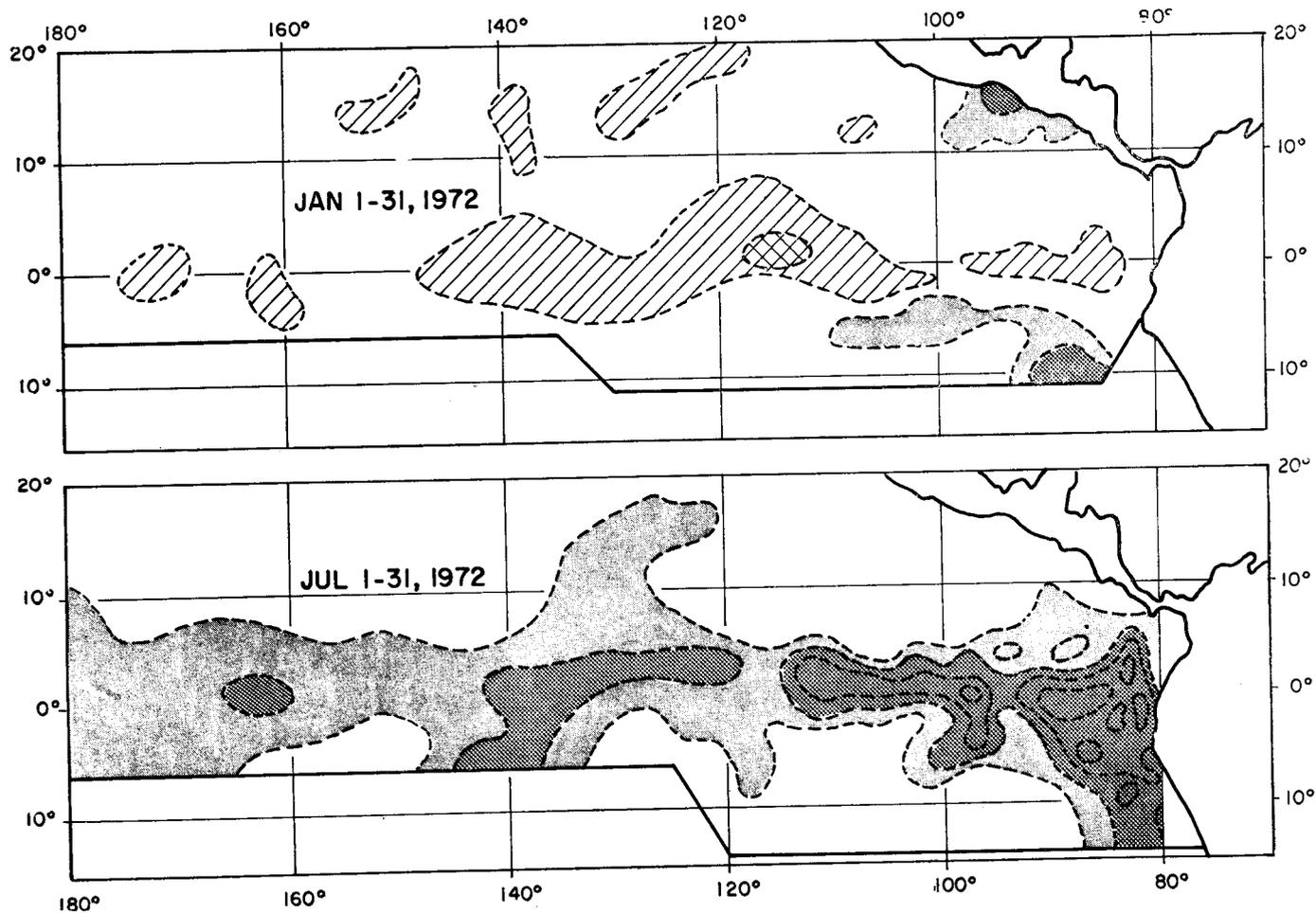
- 1 a.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) del promedio patrón, para Enero 1-31, 1972.
- 1 b.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) del promedio patrón, para Julio 1-31, 1972. Del Departamento de Comercio de U.S.A. Sin datos al sur de la línea gruesa.
Anomalías positivas mayores de 2°F , área sombreada clara; mayores de 4°F , área sombreada oscura. Anomalías negativas mayor de 2°F , líneas simples, mayor de 4°F líneas cruzadas.
- 2 a.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) de Marzo 1970 a Marzo 1-31, 1971.
- 2 b.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) de Enero 1971 a Enero 1-31, 1972. Ver encabezamiento de la Fig. 1 para otra información.
- 3 a.—Promedio de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) para Agosto.
- 3 b.—Promedio de temperatura superficial del mar para Enero. De Wyrтки (1964).
- 4 a.—Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) para Junio 1-30, 1972.
- 4 b.—Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) para Agosto 1-31, 1972 — Del Departamento de Comercio de U.S.A.
- 5 a.—Desviación de la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) del promedio patrón costa del Perú, para Enero 1972.
- 5 b.—Desviación de la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) del promedio patrón costa del Perú, para Febrero 1972. Del Instituto del Mar. Anomalías positivas $1.0-1.9^{\circ}\text{C}$ sombra compacta clara, mayor de 1.9°C sombra compacta oscura. Anomalías negativas $1.0-1.9^{\circ}\text{C}$ líneas simples, mayor que 1.9°C líneas cruzadas.
- 6.— Anomalías de temperaturas mensuales ($^{\circ}\text{C}$) de Paita, Puerto Chicama, Chimbote, Huarney y Chancay; presiones atmosféricas anómalas (mb) del Aeropuerto de Lima. Datos del Instituto del Mar. Años centrados en Junio.
- 7.— Salinidad superficial (‰) en Febrero-Marzo 1967, EASTROPAC Expedition (Love, 1972). Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.
- 8.— Temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) en Febrero-Marzo 1967, EASTROPAC Expedition (Love, 1972). Temperatura mayor de 25°C , sombreada.

- 9.— Salinidad superficial (‰) Crucero UNANUE 7202, 15 Febrero - 13 de Marzo (Instituto del Mar). Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.
- 10.— Salinidad superficial (‰), Crucero UNANUE 7212, 4-13 de Diciembre 1972 (Instituto del Mar). Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.
- 11.— Distribución vertical de la salinidad (‰) entre Ecuador y Galápagos, Abril 1965 (Stevenson, Guillén y Santoro, 1970). Salinidad menor de 34.8‰, área sombreada.

REFERENCIAS

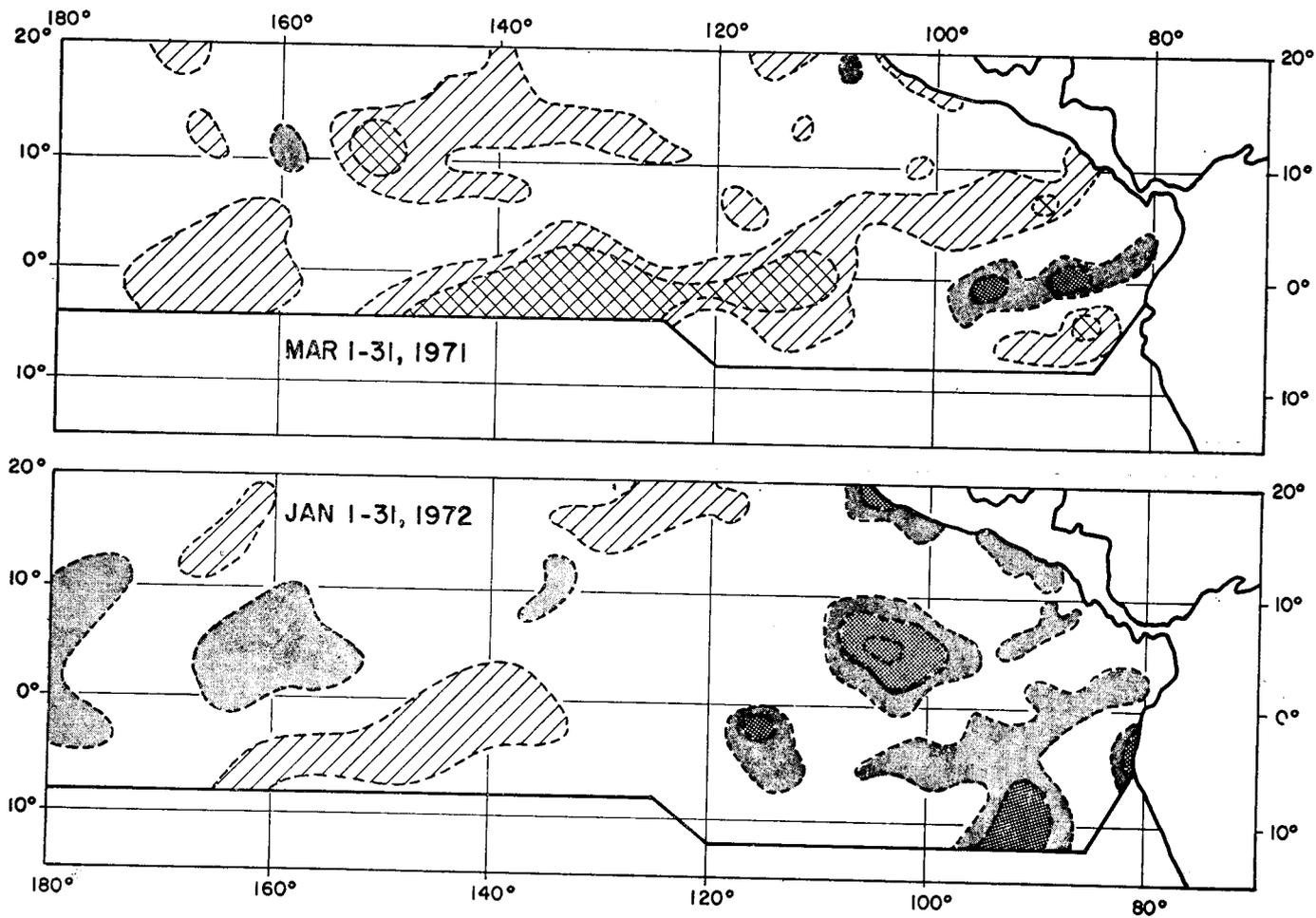
- BENNETT, E. B., 1963. An oceanographic atlas of the eastern tropical Pacific Ocean, based on data from Eastropac Expedition, October-December 1955. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 8 (2): 33-165.
- BENNETT, E. B., 1966. Monthly charts of surface salinity in the eastern tropical Pacific Ocean. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 11 (1): 3-44.
- BJERKNES, J., 1961. El Niño study based on analysis of ocean surface temperatures, 1935-57. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 5 (3): 219-303.
- BJERKNES, J., 1966. Survey of El Niño 1957-58 in its relation to tropical Pacific Meteorology. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 12 (2): 3-62.
- GUILLÉN, O., 1967. Anomalies in the waters off the Peruvian coast during March and April 1965. *Stud. Trop. Oceanogr. Miami*, 5: 452-465.
- GUILLÉN, O., 1971. The "El Niño" phenomenon in 1965 and its relation with the productivity in coastal Peruvian waters. In *Fertility of the Sea*. J. D. Costlow (Ed.), Gordon and Breach. Vol. 1, 187-196.
- LOVE, C. M. (Ed.) 1972. *EASTROPAC Atlas. Vol. 1*. Physical oceanographic and meteorological data from principal participating ships, first survey cruise, February-March 1967. National Marine Fisheries Service, U.S. Department of Commerce, Circ. 330.
- NAMIAS, J., 1973. Response of the equatorial countercurrent to the subtropical atmosphere. *Science*, 181: 1244-1245.
- REP. PERÚ, MIN. AGR., SERV. AGROMET. HIDROL, 1962. *Bol. Estadístico Met. Hidrol.*, Año 1, N° 10:60.

- RODEN, G. I., 1962. Oceanographic aspects of the eastern equatorial Pacific. *Geofisica Internat.*, 2 (4): 77-92.
- RODEWALD, M., 1958. Some notes on the anomalies of sea surface temperature and of atmospheric circulation observed in the North Pacific Ocean and on the coast of Peru in 1955. *Deut. Hydrogr. Zeit.*, 11 (2): 78-82.
- STEVENSON, M. R.; O. GUILLÉN G.; y J. SANTORO DE YCAZA, 1970. Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America. Univ. Calif. Press., 23 pp., plus charts.
- U. S. DEPT. COMMERCE, NOAA, NATIONAL MARINE FISHERIES SERVICE, 1971-1973. Fishing information. (various issues).
- WOOSTER, W. S., 1960. El Niño. *Calif. Coop. Oce. Fish. Invest. Rep.*, 7: 43-45.
- WYRTKI, K., 1964. The thermal structure of the eastern Pacific Ocean. *Deut. Hydrogr. Zeit.*, Erg. Reihe A (8^o), nr. 6, 84 pp.
- WYRTKI, K., 1973. Teleconnections in the equatorial Pacific Ocean. *Science*, 180: 66-68.
- ZUTA, S. y O. GUILLÉN, 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú*, 2 (5): 161-323.
- ZUTA, S. y W. URQUIZO, 1972. Temperatura promedia de la superficie del mar frente a la costa Peruana, período 1928-1969. *Bol. Inst. Mar Perú*, 2 (8): 462-519.



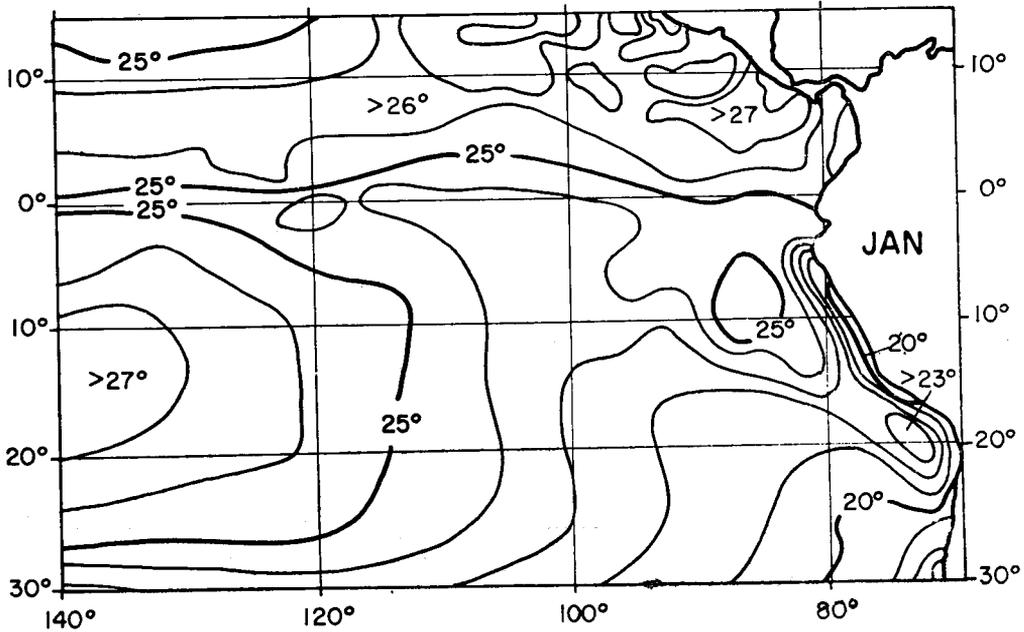
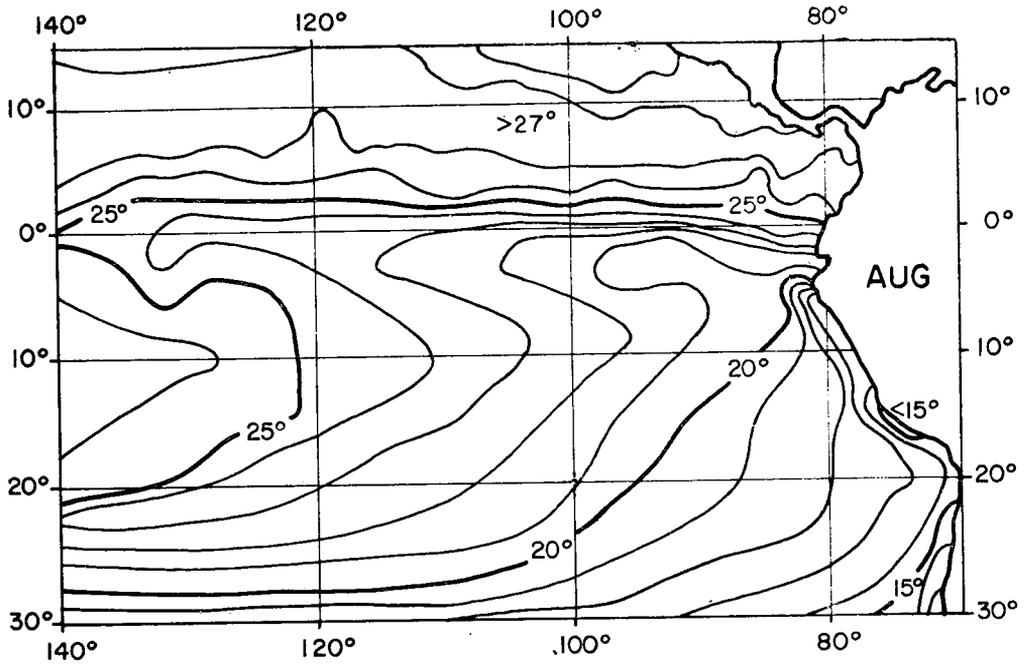
CARACTERÍSTICA DE EL NIÑO EN 1972

- 1 a.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) del promedio patrón, para Enero 1-31, 1972.
 1 b.—Desviación de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{F}$) del promedio patrón, para Julio 1-31, 1972. Del Departamento de Comercio de U.S.A. Sin datos al sur de la línea gruesa.
 Anomalías positivas mayores de 2°F , área sombreada clara, mayores de 4°F , área sombreada oscura. Anomalías negativas mayor de 2°F , líneas simples, mayor de 4°F líneas cruzadas.



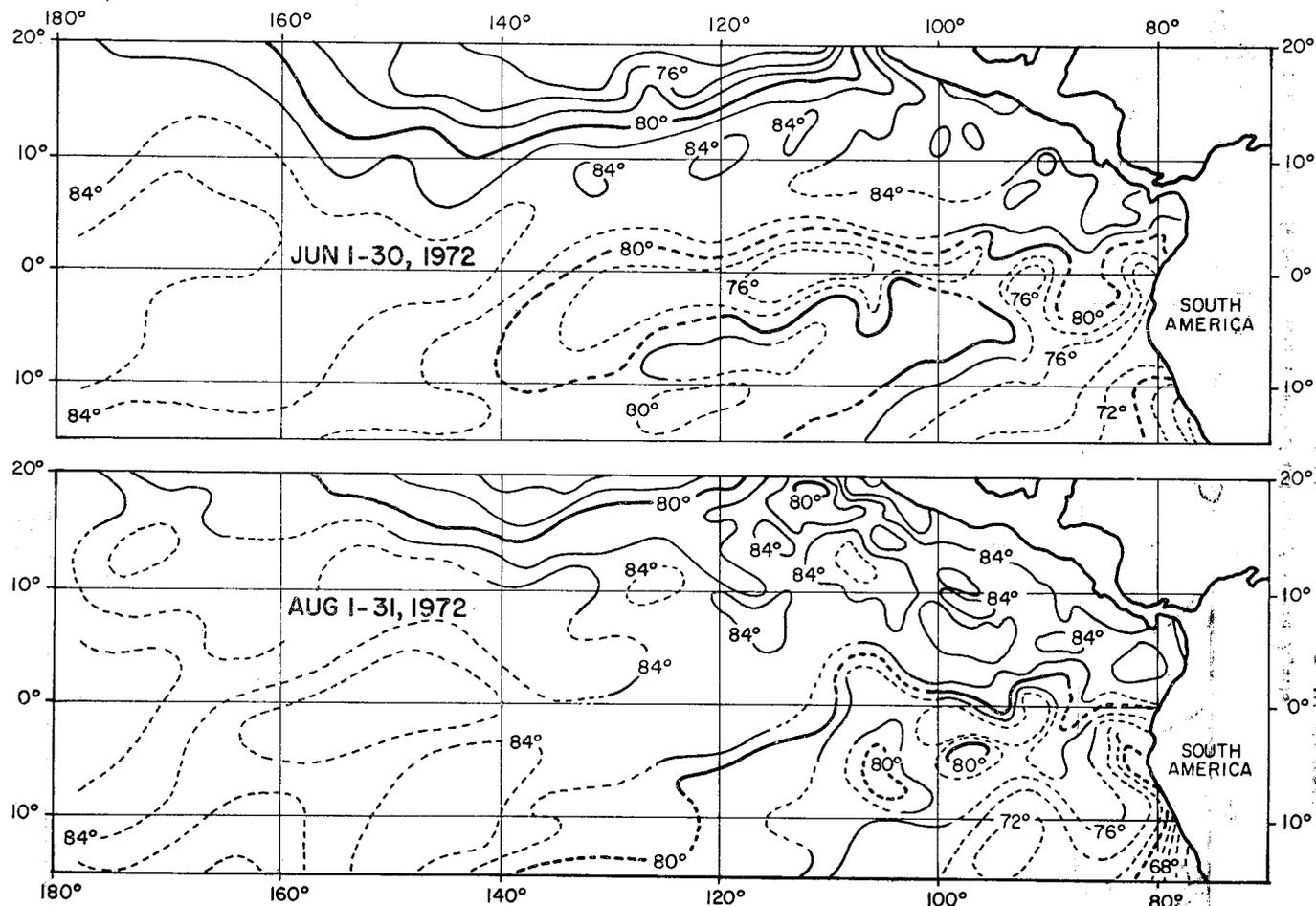
2 a.—Desviación de la temperatura superficial del mar (°F) de Marzo 1970 a Marzo 1-31, 1971.

2 b.—Desviación de la temperatura superficial del mar (°F) de Enero 1971 a Enero 1-31, 1972. Ver encabezamiento de la Fig. 1 para otra información.



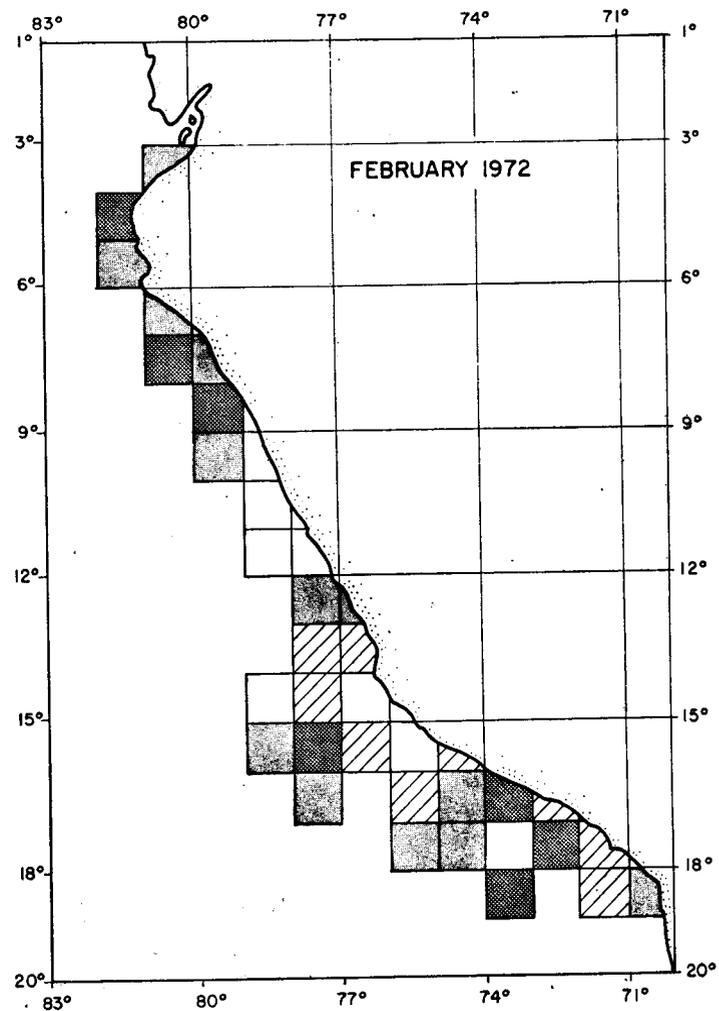
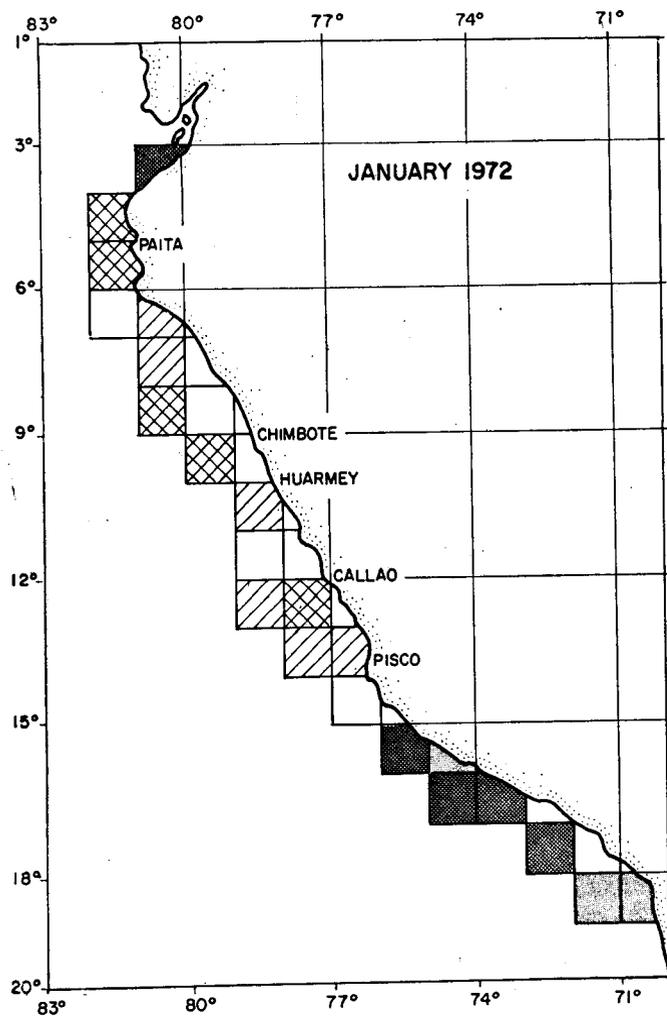
3 a.—Promedio de temperatura superficial del mar (°C) para Agosto.

3 b.—Promedio de temperatura superficial del mar para Enero. De Wyrtki (1964).



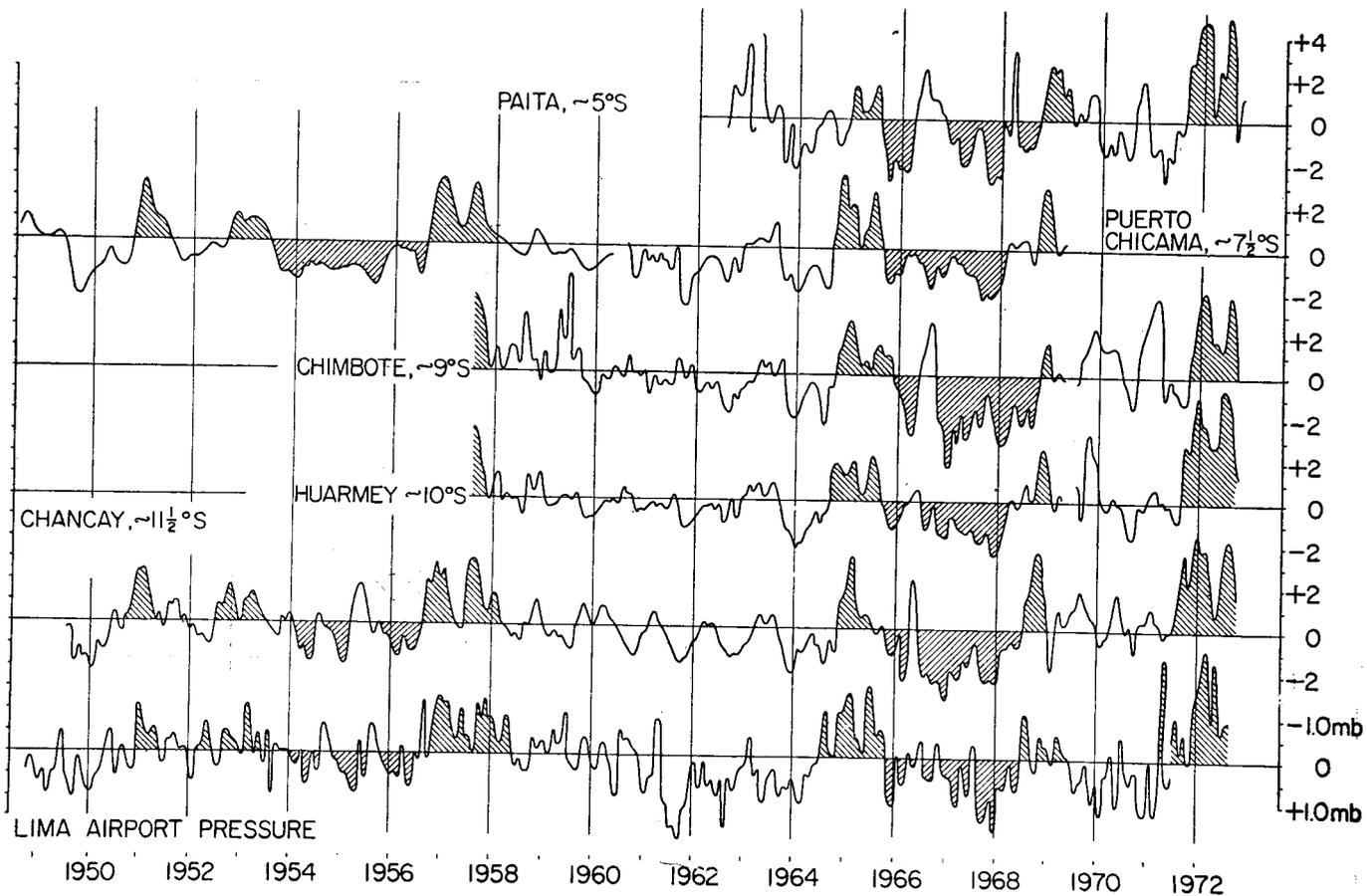
4 a.—Temperatura superficial del mar (°F) para Junio 1-30, 1972.

4 b.—Temperatura superficial del mar (°F) para Agosto 1-31, 1972. Del Departamento de Comercio de U.S.A.

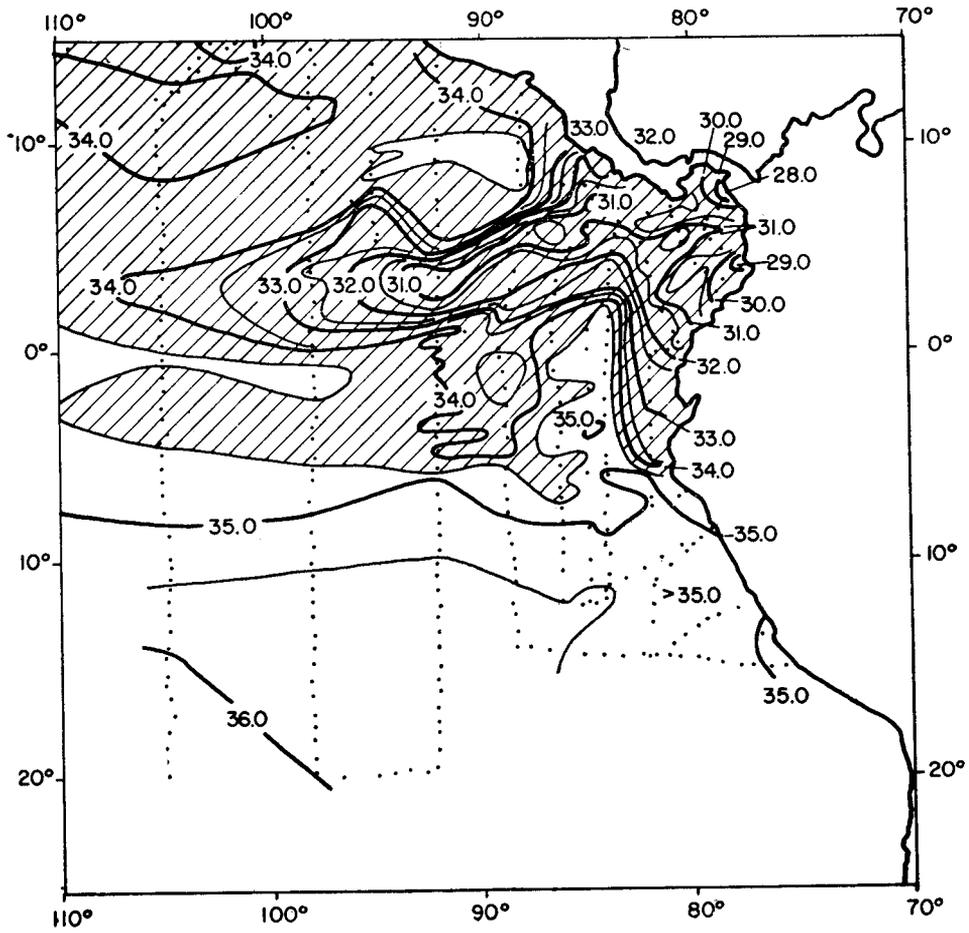


5 a.—Desviación de la temperatura superficial (°C) del promedio patrón costa del Perú, para Enero 1972.

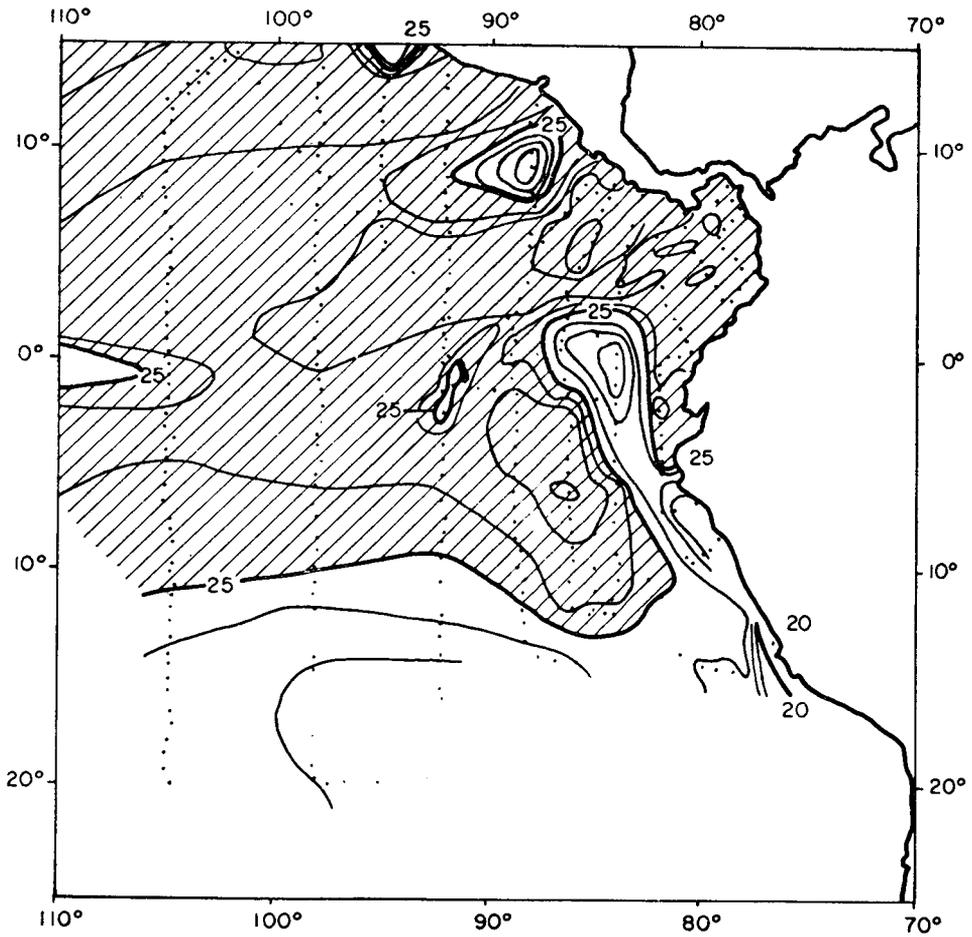
5 b.—Desviación de la temperatura superficial (°C) del promedio patrón costa del Perú, para Febrero 1972. Del Instituto del Mar. Anomalías positivas 1.0-1.9°C, sombra compacta clara, mayor de 1.9°C sombra compacta oscura. Anomalías negativas 1.0-1.9°C líneas simples, mayor que 1.9°C, líneas cruzadas.



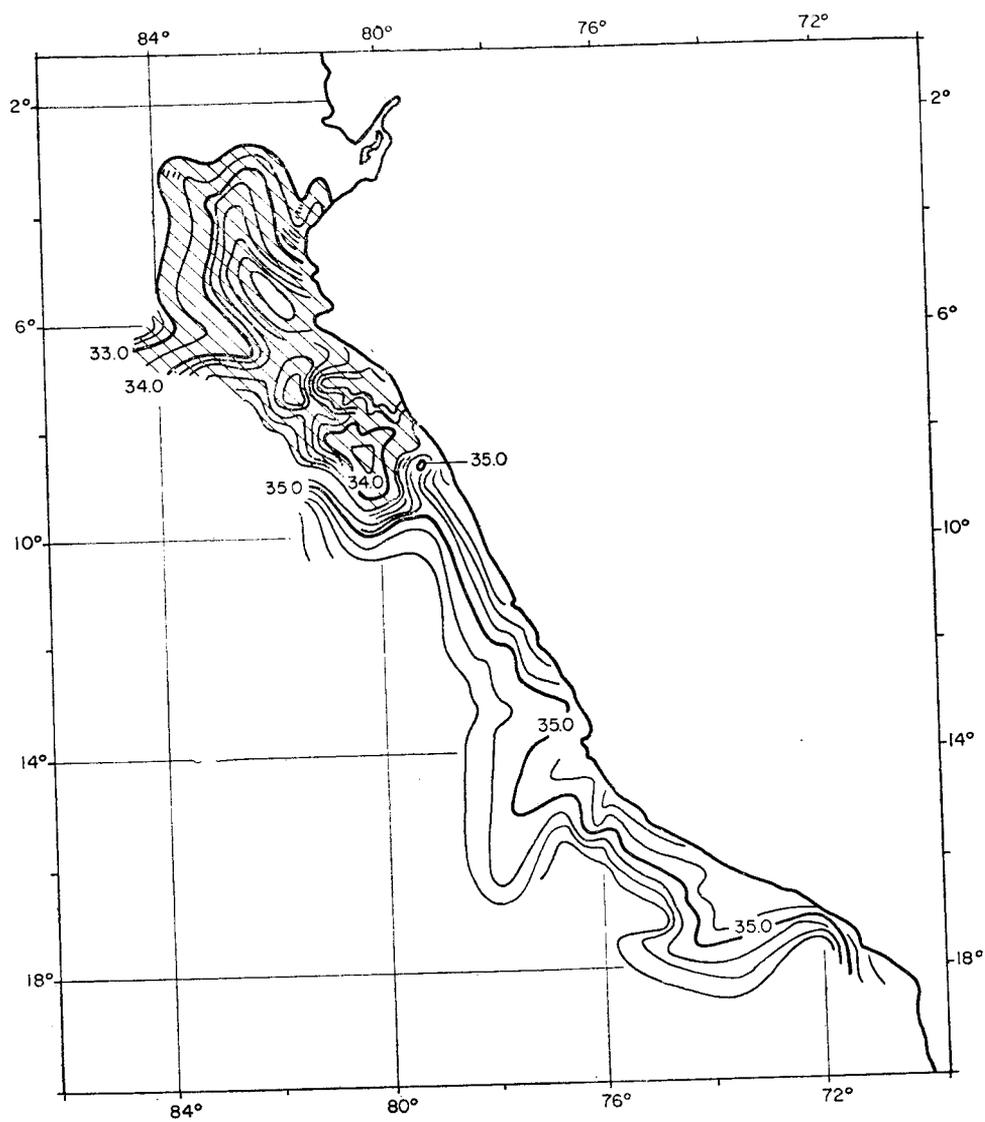
6.—Anomalías de temperaturas mensuales (°C) de Paita, Puerto Chicama, Chimbote, Huarmey y Chancay; presiones atmosféricas anómalas (mb) del Aeropuerto de Lima. Datos del Instituto del Mar. Años centrados en Junio.



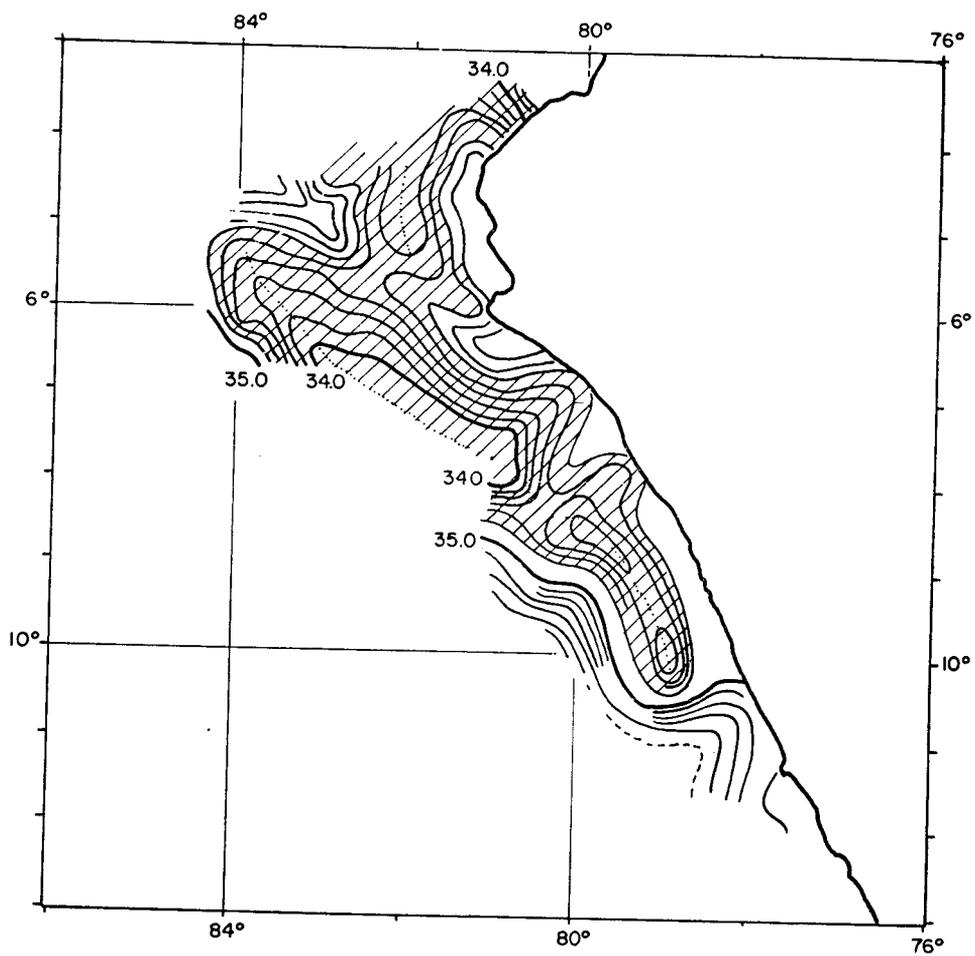
7.—Salinidad superficial (‰) en Febrero-Marzo 1967, EASTROPAC Expedition (Love, 1972).
Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.



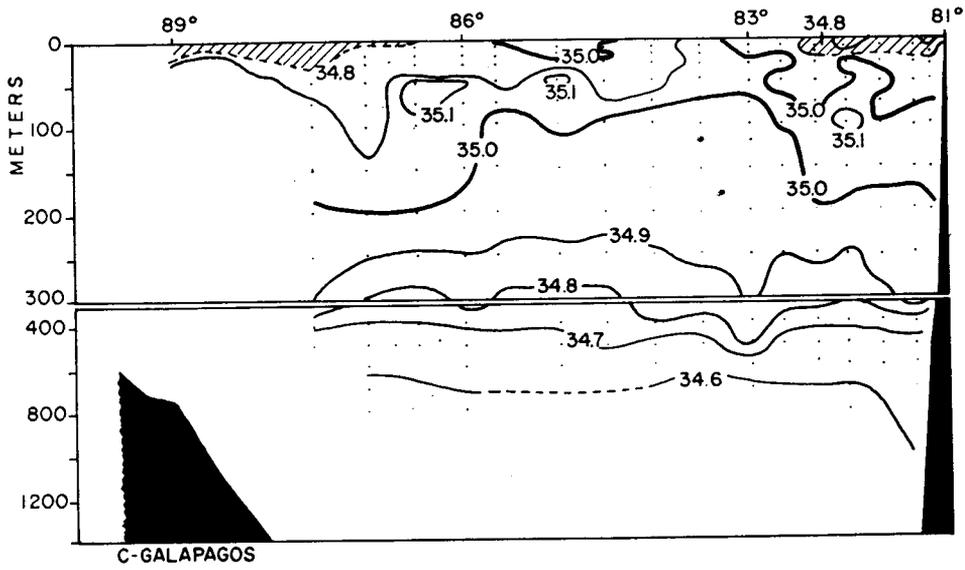
8.—Temperatura superficial (°C) en Febrero-Marzo 1967, EASTROPAC Expedition (Love, 1972).
Temperatura mayor de 25°C, sombreada.



9.—Salinidad superficial (‰), Crucero UNANUE 7202, 15 de Febrero-13 de Marzo (Instituto del Mar). Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.



10.—Salinidad superficial (‰), Crucero UNANUE 7212, 4-13 de Diciembre 1972 (Instituto del Mar).
Salinidad menor de 34.5‰, área sombreada.



11.—Distribución vertical de la salinidad (‰) entre Ecuador y Galápagos, Abril 1965 (Stevenson, Guillén y Santoro, 1970). Salinidad menor de 34.8‰, área sombreada.